

近 30 年来海伦市耕地土壤有机质和全氮的时空演变^①

陆访仪^{1,2}, 赵永存^{1*}, 黄 标¹, 孙维侠¹, 汪景宽³, 王火焰¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘 要: 土壤有机质和全氮含量是衡量黑土肥力质量的重要指标。本研究采用基于土壤学专业知识的属性数据和空间数据连接方法, 在 GIS 技术支持下, 研究了黑龙江省海伦市 1981、2000 和 2008 年 3 个时期耕地土壤有机质和全氮含量的时空变化规律。结果表明: 1981—2008 年, 海伦市有超过 60% 的耕地土壤有机质和全氮含量下降, 主要分布在中部和西南部。有机质的下降主要发生前 20 年(1981—2000), 且降幅较大, 超过 15 g/kg, 而近 10 年(2000—2008)耕地土壤有机质的下降幅度和下降区的面积均有所减小; 但近 10 年(2000—2008)耕地土壤全氮含量下降问题依然严重, 中部和西南部累计有超过 70% 的耕地土壤全氮含量呈下降趋势, 其中全氮降幅超过 0.50 g/kg 区域约占耕地面积的 38%。

关键词: 海伦市; 黑土; 耕地; 有机质; 全氮; 时空演变

中图分类号: S153.6

我国黑土总面积 734.65 万 hm^2 , 主要分布在黑龙江、吉林两省和内蒙古自治区^[1]。黑土质地黏重, 保肥保水, 所含腐殖质大多以易被植物吸收利用的形态存在, 是我国自然肥力最高、农业利用条件最好的土壤之一^[2-3]。黑土区作为我国重要的商品粮生产基地, 其土壤肥力状况受到了较多关注^[4-6], 而黑土的肥力问题在很大程度上是土壤有机质的问题^[7], 尤其在农业生态系统中, 有机质和全氮是表征土壤肥力质量的重要指标^[8]。

汪景宽等^[5]的研究表明, 黑龙江省中部典型黑土地区在 1980—2000 年间, 土壤 pH、有机质和速效钾分别降低了 0.38%、22.26% 和 34.47%; 徐艳等^[9]对比 20 年来(1980—2000 年)我国潮土区和黑土区土壤有机质的变化后发现, 黑龙江省北安、海伦和吉林省公主岭 3 个典型黑土区土壤有机质普遍呈现下降趋势; 程彬^[10]利用 1986 年的 TM 影像和 2002 年的 ASTER 遥感影像, 分别定量反演了我国松辽平原的黑土有机质含量, 其研究表明 20 年间黑龙江省海伦市土壤有机质含量总体呈现下降趋势。

由此可见, 从上世纪 80 年代到本世纪初这 20 年间, 我国黑土养分状况呈现缓慢趋劣的特点, 但 2000 年后的近 10 年, 黑土肥力的变化趋势尚不明晰。本研

究以黑龙江海伦市为典型研究区, 利用 80 年代第二次土壤普查资料, 以及 2000—2008 年野外采样分析数据, 研究了海伦市近 30 年来耕地土壤有机质和全氮的时空变化规律, 并对其驱动因子进行了初步探讨, 这对于深刻把握我国黑土区土壤肥力变化的新特点, 并据此制订切实可行的土壤质量定向培育措施等具有重要理论和现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

海伦市位于黑龙江省中部(46°58' ~ 47°52' N, 126°14' ~ 127°45' E)(图 1), 土地总面积约 4 700 km^2 。该市地处小兴安岭西麓向松嫩平原中北部的过渡地带, 地势从东北到西南由低丘陵、高平原、河阶地、河漫滩依次呈阶梯形逐渐降低, 境内无高山, 大部分为波状起伏的高平原, 且坡度不大, 海拔最高处 471 m, 最低处 147 m, 一般为 200 m 上下^[11-12]。海伦市属寒温带大陆性季风气候, 年降水量 500 ~ 600 mm, 年平均气温 1 ~ 2℃。土壤母质绝大部分为河湖相冰水沉积物, 其上覆盖深厚黄土性黏土(厚度达 10 ~ 30 m)。土壤类型主要为黑土和草甸土, 此外, 暗棕壤、沼泽土、白浆土、水稻土亦有少量分布^[13]。

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-QN404), 国家自然科学基金专项项目(41040009)和 973 项目全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB950702)资助。

* 通讯作者(yczhao@issas.ac.cn)

作者简介: 陆访仪(1987—), 男, 江苏江阴人, 硕士研究生, 主要从事资源环境与遥感信息方面的研究。E-mail: jazpuo@gmail.com

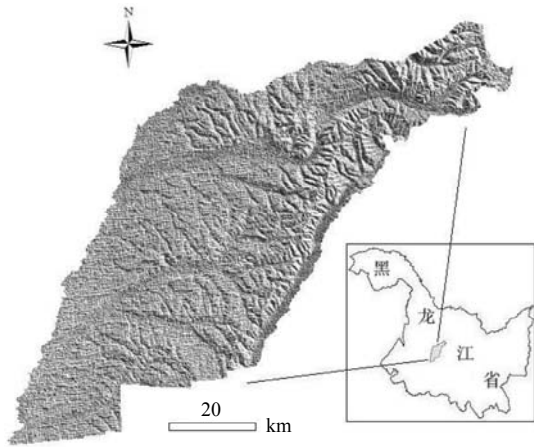


图 1 海伦市的地理位置

Fig. 1 Geographical location of Hailun City, Heilongjiang Province

1.2 数据来源与预处理

土壤有机质和全氮数据包括 3 个时段：1981 年共 68 个样点数据，收集自《海伦县土壤志》；2000 年（72 个样点）和 2008 年（483 个样点）的数据为野外采样后实验室分析获得，其中土壤有机质分析采用重铬酸

钾氧化-外加热（油浴）法^[14]，土壤全氮分析采用半微量开氏法^[15]。

由于 1981 年采样点位置只有文字形式的记述，没有 GPS 定位的经纬度坐标，故本文利用海伦市 1:5 万地形图来确定 1981 年样点位置的坐标。2000 年和 2008 年野外采样均利用 GPS 定位，但两次样点布设方法稍有差异，2000 年的样点主要参考 1981 年的样点位置布设（覆盖主要土壤类型），2008 年样点布设则采用的是“4 km 基础网格+加密点+随机点”相结合的方法，即，首先在海伦市耕地区域布置 4 km 网格样点约 210 个，然后对于人为活动潜在影响较强或土壤农业利用强度较高的地区（比如村镇附近耕地等）进行加密布点，最后对于采样点未覆盖到的耕地土种类型，在其土种图斑内进行随机布点，以确保潜在的农业高强度利用区以及耕地上的每个土种都至少包含一个采样点，野外采样工作实施后，实际共获得 483 个采样点。此外，为了获得相对准确的海伦市耕地分布图，本研究还利用 ETM+遥感影像（图 2a^①）目视解译提取出海伦市的土地利用图（图 2b）。

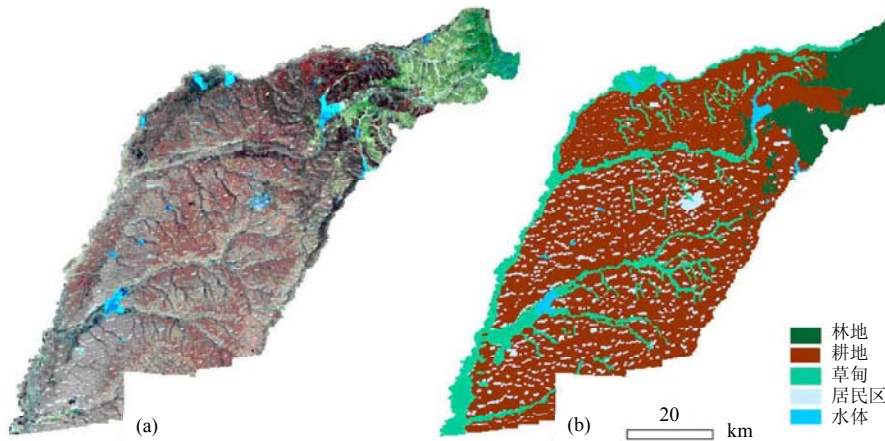


图 2 基于 ETM+5、4、3 波段假彩色合成图 (a) 目视解译的海伦市土地利用图 (b)

Fig. 2 Hailun landuse map (b) which generated from ETM+ (Band5, 4, 3) false-color composite image(a) with the method of visual interpretation

1.3 土壤样点属性数据的空间拓展方法

本研究中土壤样点属性数据点面拓展未采用地统计学插值方法，这主要基于两点考虑：首先，1981 年的土壤普查数据没有 GPS 坐标，确定样点位置过程中的误差将对插值方法的预测结果产生深刻影响；其次，1981 年和 2000 年的样点数量相对较少，利用地统计学插值方法实现点面拓展可能存在较大误差。例如，采用 Kriging 插值时，样点数过少 (<100 个) 可能导

致半方差函数推断不准确，从而影响最终的 Kriging 插值结果精度。因此，考虑到本研究的数据特点及不同时段数据点面拓展方法的一致性，本研究参考“基于土壤学专业知识方法 (pedological professional knowledge based method, PKB)”^[16-17]，并根据海伦市的土壤类型分布特点，结合实际掌握的数据资料情况，实现 3 个时期研究区域内样点属性数据的空间拓展，该方法的具体步骤如下（图 3）：

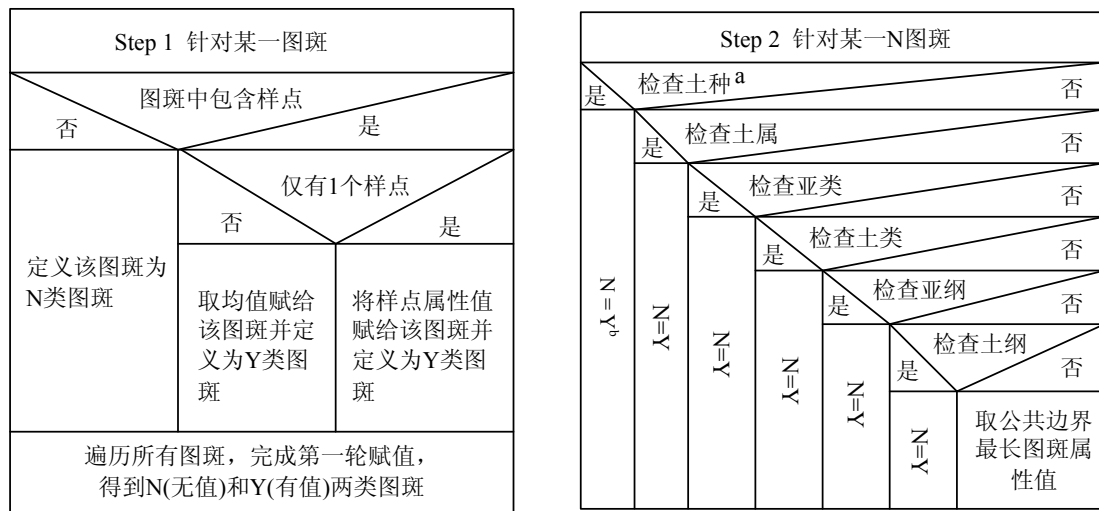
①影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台 (<http://datamirror.csdb.cn>)，为 2000 年 4 月 11 日 Landsat 7 的 ETM+影像，条/带号为 118/27。

在 GIS 软件中，将样点分布图与海伦市 1:10 万土壤图（基本图例单元为土种）叠加显示，将落入图斑内的样点属性值（有机质和全氮）赋于该图斑（如果一个图斑内有 ≥ 2 个样点落入，则取其平均值）。对所有样点进行图斑赋值后，得到有属性值的图斑（Y 斑）和无属性值的图斑（N 斑）（图 3 Step 1）。

对于某一 N 斑，观察与其相邻近的图斑中是否有

同一土种级别的 Y 斑，如有，则将该 Y 斑属性值赋于该 N 斑；如无，则观察与其相近的图斑中是否有同一土属级别的 Y 斑，如有，则赋值；如无，再依次上推至亚类、土类、亚纲、土纲级别，最后完成该斑的赋值（图 3 Step 2）。

基于上述原则完成各个时段所有土壤图斑的属性赋值后，利用 ArcGIS 软件（9.2 版）进行土壤有机质和全氮的时空变化分析。



注：a：检查所有相邻（具有公共边界）图斑中是否具有同一土种（往下则为土属、亚类、土类...）的 Y 类（有值）图斑；b：如果仅有一个满足条件的 Y 图斑，直接取该 Y 图斑的属性值，如果超过一个，取公共边界最长的那个 Y 图斑属性值。

图 3 土壤样点属性数据的空间拓展方法（盒图）

Fig. 3 Box diagram of the method in extending simples properties data to the full study area

2 结果与分析

2.1 海伦市土壤有机质和全氮的描述统计分析

表 1 为海伦市 3 个时期耕层土壤有机质和全氮含量的描述性统计分析。从有机质和全氮的偏度系数来看，相比 2000 年和 2008 年，1981 年的有机质和全氮均呈现更强烈的右侧长尾分布，即存在局部的有机质、

全氮高值区。同时，1981 年有机质和全氮的变异系数也明显大于后两个时期，因此，如不考虑因样本数量差异引起的统计误差，则海伦市耕地土壤有机质和全氮的变异性均趋于减弱。此外，各个时期样点数据的平均值差异表明，2000 年和 2008 年有机质较 1981 年时下降均超过 10 g/kg，而全氮的降幅则在 0.50 g/kg 左右。

表 1 海伦市土壤有机质和土壤全氮的描述性统计（g/kg）

Table 1 Descriptive statistics of soil organic matter and soil total nitrogen in Hailun City

年份	样本数	属性	平均值	标准偏差	变异系数 (%)	偏度	峰度
1981	68	有机质	62.2	28.2	45.3	3.38	16.7
		全氮	2.94	1.51	51.4	2.63	9.37
2000	72	有机质	49.1	9.31	19.0	0.562	0.849
		全氮	2.56	0.401	15.7	0.820	1.48
2008	483	有机质	51.2	11.0	21.5	1.04	4.39
		全氮	2.33	0.502	21.5	1.26	5.46

2.2 有机质和全氮的时空分布规律

为便于讨论，本研究参考《海伦县土壤志》(1985)和

《黑龙江土壤》(1992)中的分级方法，并结合实际的数据分布情况，将土壤有机质和全氮均划分为 5 个等级(表 2)。

表 2 有机质和全氮分级表
Table 2 Ranks of soil organic matter and total nitrogen

等级	1	2	3	4	5
有机质 (g/kg)	>60	(50, 60]	(40, 50]	(30, 40]	≤30
全氮 (g/kg)	>4.0	(3.5, 4.0]	(2.5, 3.5]	(1.5, 2.5]	≤1.5

注：值域描述应用了数学上的区间表示方法。

按照上述土壤有机质分级方法，1981 年时全市耕地土壤有机质以 1 级(占耕地总面积 29%)、2 级(45%)和 3 级(18%)为主(图 4)，前者分布在耕地的边缘和中部区域，后两者以相间形式分布在耕地的其余大部分区域(图 5a)；2000 年时，有机质以 2 级(39%)和 3 级(47%)为主(图 4)，两者分布大致以西北-东南角连线为界，界上方为 2 级，下方为 3 级(图 5a)；2008 年时，有机质仍以 2、3 级为主，但面积百分比均有减小(相比于 2000 年)，分别降至 37% 和 35%(图 4)，而此时，有机质为 1 级和 4 级的耕地面积有所增加，前者增加在海伦市耕地区区域的上边缘，后者增加在耕地区区域的西南角(图 5a)。

2.3 有机质和全氮的时空变异规律

总体上，1981—2008 年的近 30 年，海伦市耕地有机质和全氮表现为下降的区域面积均超过 60%，尤

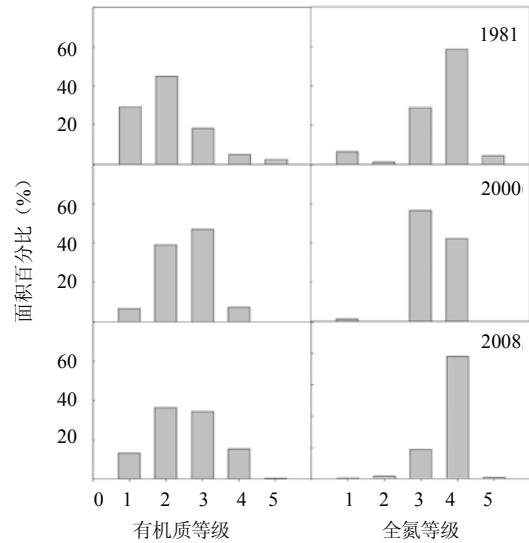


图 4 3 个时期海伦市不同等级耕地土壤有机质和全氮的面积百分比
Fig. 4 Area percentages in different ranks of arable soil organic matter and total nitrogen in three periods of Hailun City

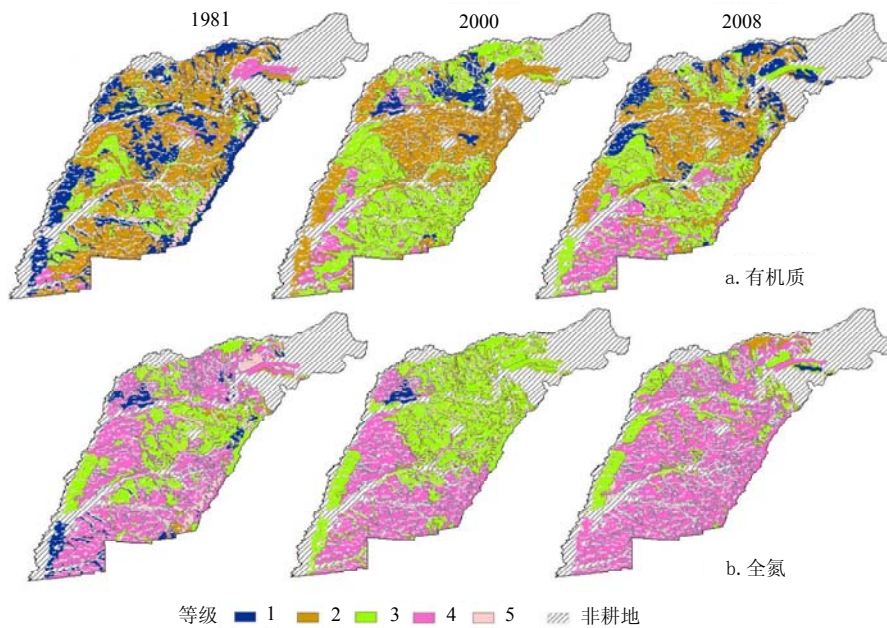


图 5 3 个时期海伦市耕地土壤有机质 (a) 和全氮 (b) 的分布

Fig. 5 Distribution of arable soil organic matter (a) and total nitrogen (b) in three periods of Hailun City

其是全氮，下降区面积达 72% (表 3)。有机质含量下降的区域包括海伦市的西南部和中部，其中西南部下降幅度较大，超过 15 g/kg (图 6a)；全氮含量下降的区域大致与有机质相同，但下降幅度大(超过 0.5 g/kg)的耕地面积更多(约 38%，表 3)，且广泛分布在海伦市西南部和中部的耕地区(图 6b)。

1981—2000 年间，海伦市耕地表层有机质含量减小(减幅不低于 3 g/kg)的区域面积比总和超过 70%，其中降幅较大(不低于 15 g/kg)的区域面积约占总耕地 35% (表 3)，且集中分布在海伦市西南部(图 6a)；相比有机质，全氮含量下降(降幅不低于 0.05 g/kg)

的耕地面积(约 46%)有所减少(表 3)，主要集中在海伦市的西部，减幅在 0.05 ~ 0.50 g/kg (图 6b)。

2000—2008 年间，有机质降低的趋势有所减缓，降幅超过 10 g/kg 的耕地较少(约 11%)，约 26% 的耕地有机质降幅在 3 ~ 10 g/kg，其余超过 50% 的耕地有机质含量呈小幅波动(± 3 g/kg)或表现为增加(>3 g/kg) (表 3; 图 6a)。全氮降低的情况则不容乐观，有超过 80% 的耕地全氮含量减少(降幅不低于 0.05 g/kg)，其中近 30% 减幅在 0.50 g/kg 以上(南部和北部)；约 28% 的耕地减幅在 0.25 ~ 0.50 g/kg (东部和西部)(表 3; 图 6b)。

表 3 不同有机质和全氮含量范围的面积百分比

Table 3 Area percentages of soil organic matter content and soil total nitrogen contents

有机质含量 (g/kg)	各阶段不同含量有机质面积百分比			全氮含量 (g/kg)	各阶段不同含量全氮面积百分比		
	2000—1981 年	2008—2000 年	2008—1981 年		2000—1981 年	2008—2000 年	2008—1981 年
≤ -20	11.16	4.97	12.43	≤ -1.00	6.36	6.14	8.15
(-20, -15]	9.85	1.21	9.30	(-1.00, -0.50]	2.46	29.07	29.80
(-15, -10]	14.16	4.59	19.36	(-0.50, -0.25]	9.86	27.65	18.23
(-10, -3]	37.65	27.57	26.06	(-0.25, -0.05]	27.22	18.74	15.70
(-3, 3]	13.78	30.30	18.72	(-0.05, 0.05]	16.68	3.74	0.64
(3, 10]	3.53	17.35	4.45	(0.05, 0.25]	10.17	3.70	5.49
(10, 15]	1.59	6.96	4.04	(0.25, 0.50]	7.73	2.89	8.74
(15, 20]	4.86	3.82	0.71	(0.50, 1.00]	10.99	6.01	8.73
>20	3.43	3.23	4.92	>1.00	8.53	2.06	4.51

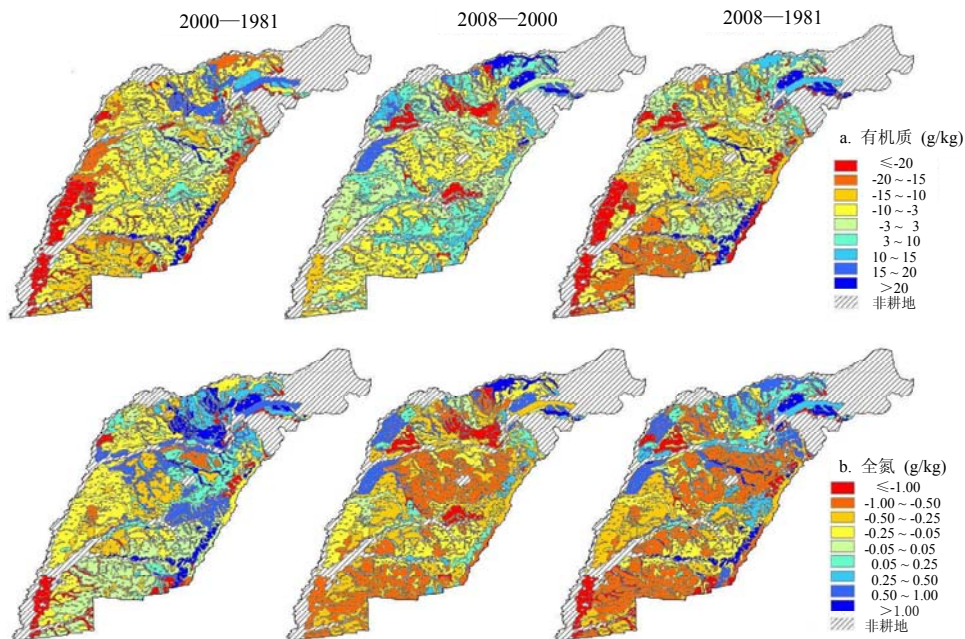


图 6 海伦市耕地土壤有机质(a)和全氮(b)的各时期两两差值分布图

Fig. 6 Spatial distribution maps of arable soil organic matter(a) and total nitrogen(b) differences between different years, Hailun City

3 讨论

3.1 土壤有机质和全氮时空变化的驱动因素分析

3.1.1 气候和地形因素 从东北至西南, 海伦市大致可划分为 4 个区域: 东北低山丘陵林业区、东北丘陵漫岗农林区、中部漫川漫岗农业区和西南部平川漫岗农业区^[13], 而海伦市的耕地主要分布在后两个农业区中。高程 200 m 可作为中部漫川漫岗农业区和西南部平川漫岗农业区的一个量化划分指标 (图 7^①)。由图 5 可知, 无论哪个时期, 总体上, 中部耕地有机质和全氮的平均含量要高于西南部。这一空间分布特征一方面与气温有关, 即中部地区纬度高, 接近小兴安岭南麓, 气温低, 微生物活性弱, 土壤中养分分解速度慢; 另一方面也与海伦市特殊的地理位置有关。从图 7 可以看出, 海伦市西北面、北面和东北面均有山坡 (体) 遮挡, 而西南部为大面积的平原。一到春季 (3—5 月份), 海伦市盛行西南风 (风速达 5 m/s)^[13], 恰此时冰冻的黑土刚解冻, 表土十分干松, 两者综合, 使得“长驱直入”的“春风”成为海伦市西南部耕地土壤侵蚀、肥力下降的重要自然因素。

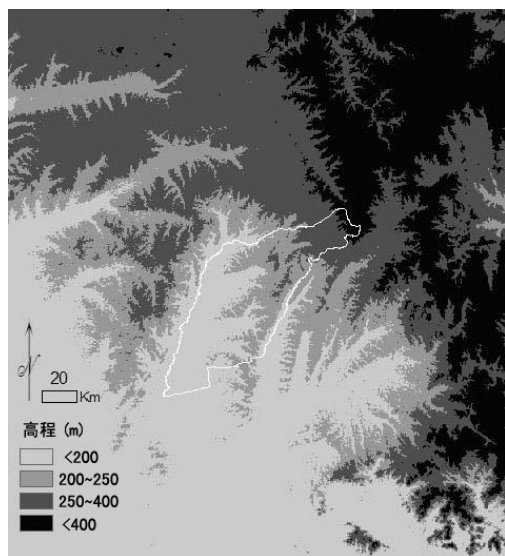


图 7 海伦市及其周边区域地形

Fig. 7 Topographic map of Hailun and surrounding area

3.1.2 农业活动的影响 随着海伦市经济的发展以及农民“养地”观念的逐渐增强, 黑土的重用轻养状况有所改善, 农业资料的投入日益增大, 例如, 根据 1981—2005 年的《中国农业统计年鉴》统计, 海伦市化肥总量 (折纯) 由 1981 年的 9 542 t 增加到 2005

年的 44 000 t。海伦市近 10 年 (2000—2008 年) 耕地有机质的下降程度减缓, 有机质下降的耕地面积也比前 20 年 (1980—2000 年) 显著减小 (图 6a)。全氮的变化情况则与有机质明显不同, 近 10 年 (2000—2008 年) 与前 20 年 (1981—2000 年) 相比, 全氮的下降幅度加大, 全氮含量下降的耕地面积显著扩大 (图 6b)。原因可能复杂多样。一方面, 自上世纪 90 年代中期以后, 施肥制度发生了改变。由于经济原因, 1995 年之前, 包括各类家禽粪便在内的有机肥使用在海伦市整个施肥体系中占有较大比重, 而近年来经济的持续发展, 使农民的生活水平有了改善, 有机肥的使用开始减少, 取而代之的是各类单项化肥, 例从 1995—2005 年, 海伦市氮肥的年投入量基本能稳定在 90 kg/hm² (折纯) 左右, 而中国科学院海伦农业生态实验站进行的农田长期 (1985—2003 年) 定位试验表明, 有机肥和无机肥长期配合施用的黑土中全氮含量要明显高于单施氮肥的土壤^[18], 事实上, 该实验站的另一项长期 (1990—2004 年) 定位试验表明, 长期施用氮肥, 虽然可以降低土壤中氮素的矿化速率, 减缓土壤的退化速度, 但全氮总量将持续下降^[19]。另一方面, 除去上述施肥制度改变的影响外, 近年来由于农业机械化程度的提高, 耕地的利用强度加大可能也在一定程度上加快了土壤中氮的淋失和挥发。

3.2 土壤属性数据的点面拓展方法

区域性土壤调查过程中, 无一例外都会遇到如何将有限的采样点属性拓展到整个调查区域的问题, 从目前的相关研究来看大体上可以划分为两类。

3.2.1 基于数学插值理论的点面拓展 此类拓展也可称为空间插值 (spatial interpolation), 其最大特点是最后所获得的拓展面属性连续。Li 和 Heap^[20]对目前应用于环境科学领域的主要 (42 种) 空间插值方法进行了系统总结, 并将这些方法归为 3 类: 非地统计插值法 (non-geostatistical interpolators)、地统计插值法 (geostatistical interpolators) 以及上述两者相结合的方法 (combined procedures)。空间插值具有合理的数学模型基础, 可以通过定量的指标对最终插值效果进行评价, 是一类客观且相对精确的点面拓展方法。但由于土壤是种复杂的混合物, 传统的五大成土因素交互错综^[21], 加上人为作用影响, 其属性的空间变异比较复杂。不同空间插值方法具有不同的适用条件^[20] (数学模型一般建立在一些假设条件的基础上), 选择

①基于 ASTER GDEM 影像 (30 m 分辨率), 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台. <http://datamirror.csdb.cn>

合适的插值方法本身便是一个值得研究的难题。另外，空间插值方法对各项土壤属性的适用性也值得探讨。适用于某类土壤的插值方法往往不适宜其他类型土壤，甚至对于同一土壤，适用于某种属性的插值方法可能并不适于其他属性^[22]。因此，空间插值方法的选择及其特定的适用条件是在其被正式运用前值得仔细考虑的。

3.2.2 基于土壤学专业知识的点面拓展 此类拓展完成的平面属性呈离散分布。Shi 等^[23]提出的 PKB 法 (pedological professional knowledge based method)，主要考虑土壤类型的一致，同时兼顾成土母质、采样点分布、地形地貌等相关因素，是一种基于土壤学专业知识的点面拓展方法，能在大区域^[24]或样点数据相对较少的条件下^[25]实现土壤属性的点面拓展。另外，PKB 法相比于空间插值方法，降低了对样点地理位置 (坐标) 的精度要求，能对缺乏 GPS 坐标记载的样点数据 (例我国两次土壤普查数据) 进行有效利用和数据挖掘分析。但 PKB 法较强调土壤学专业知识，一方面，非 (土壤) 专业人员应用相对比较困难；另一方面，即使专业人员对土壤地理学知识的掌握和理解程度也不尽相同，因此，从这一层面上讲，PKB 方法具有一定的经验依赖性。本文提出的简化 PKB 法的程序化步骤 (见 1.3 节)，它能够方便地实现区域土壤属性的点面拓展，但同时也应认识到本方法在对无样点图斑赋值时存在假设 (图 3 Step 2)，这一假设是根据研究区域 (海伦市) 的具体情况所提出的，而事实上，任何一种 PKB 法在对无样点图斑赋值时必然存在假设，针对不同的研究区域应该提出相适应的合理假设，这也是使 PKB 法更趋于数学严谨的重要研究方向。

参考文献:

- [1] 龚子同. 土壤发生与系统分类. 北京: 科学出版社, 2007: 141
- [2] 中国科学院林业土壤研究所. 中国东北土壤. 北京: 科学出版社, 1980: 118-130
- [3] 中国科学院南京土壤研究所黑龙江队. 黑龙江省与内蒙古自治区东北部土壤资源. 北京: 科学出版社, 1982: 118-126
- [4] 赵兰坡, 王鸿斌, 刘会青, 王艳玲, 刘淑霞, 王宇. 松辽平原玉米带黑土肥力退化机理研究. 土壤学报, 2006, 43(1): 80-84
- [5] 汪景宽, 李双异, 张旭东, 魏丹, 迟凤琴. 20 年来东北典型黑土地区土壤肥力质量变化. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 19-24
- [6] Zhang XY, Sui YY, Zhang XD, Kai M, Herbert SJ. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 19-29
- [7] 黑龙江省土地管理局, 黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤. 北京: 农业出版社, 1992: 177-178
- [8] Huang B, Sun WX, Zhao YC, Zhu J, Yang RQ, Zou Z, Ding F, Su JP. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. *Geoderma*, 2007, 139(3/4): 336-345
- [9] 徐艳, 张凤荣, 汪景宽, 王秋兵, 王茹. 20 年来我国潮土区与黑土区土壤有机质变化的对比研究. 土壤通报, 2004, 35(2): 102-105
- [10] 程彬. 松辽平原黑土有机质及相关元素遥感定量反演研究 (博士学位论文). 吉林: 吉林大学, 2007
- [11] 赵军, 张久明, 孟凯, 隋跃宇. 地统计学及 GIS 在黑土区域土壤养分空间异质性分析中的应用——以海伦市为例. 水土保持通报, 2004, 24(6): 53-57
- [12] 李欣宇, 宇万太, 李秀珍. 遥感与地统计在表层土壤有机碳空间格局研究中的应用比较. 农业工程学报, 2009, 25(3): 148-152
- [13] 黑龙江省海伦县土壤普查办公室. 海伦县土壤志. 海伦: 黑龙江省海伦县土壤普查办公室, 1985
- [14] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996: 166-167
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 147-149
- [16] Zhao YC, Shi XZ, Weindorf DC, Yu DS, Sun WX, Wang HJ. Map scale effect on soil organic carbon stock estimation in north China. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, 17(4): 1377-1386
- [17] 王志刚, 赵永存, 廖启林, 黄标, 孙维霞, 齐雁冰, 史学正, 于东升. 近 20 年来江苏省土壤 pH 值时空变化及其驱动力. 生态学报, 2008, 28(2): 720-727
- [18] 隋跃宇, 张兴义, 焦晓光, 王其存, 赵军. 长期不同施肥制度对农田黑土有机质和氮素的影响. 水土保持学报, 2005, 19(6): 190-192
- [19] 乔云发, 韩晓增, 韩秉进, 李海波, 王树起. 长期施用化肥对农田黑土有机碳和氮消长规律的影响. 中国土壤与肥料, 2007(4): 30-33
- [20] Li J, Heap AD. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia Record*, 2008, 23: 137
- [21] Jenny H. *Factors of Soil Formation*. New York: McGraw-Hill, 1941: 261-269
- [22] Karydas CG, Gitas IZ, Koutsogiannaki G, Lydakis-Simantiris, Silleos GE. Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping agricultural topsoil properties in Crete. *EARSeL eProceedings*, 2009, 8(1): 26-39

- [23] Shi XZ, Yu DS, Warner ED, Pan XZ, Petersen GW, Gong ZG, Weindorf DC. Soil database of 1:1000 000 digital soil survey and reference system of the Chinese genetic soil classification system. *Soil Survey Horizon*, 2004, 45(4):129-136
- [24] Wang DD, Shi XZ, Lu XX, Wang HJ, Yu DD, Sun WX, Zhao YC. Response of soil organic carbon spatial variability to the expansion of scale in the uplands of Northeast China. *Geoderma*, 2010, 154(3/4): 302-310
- [25] 刘莎, 任红艳, 史学正, 潘剑君, 王洪杰. 水稻土有机碳密度的空间预测分析——以浙江省长兴县为例. *地球信息科学学报*, 2010, 12(2): 180-185

Spatio-temporal Variability of Organic Matter and Total Nitrogen Contents in Arable Soils of Hailun City in Past 30 Years

LU Fang-yi^{1,2}, ZHAO Yong-cun¹, HUANG Biao¹, SUN Wei-xia¹, WANG Jing-kuan³, WANG Huo-yan¹

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China;

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3 *College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)*

Abstract: Soil organic matter and total nitrogen are important indexes in evaluating the fertility of black soil. In this paper, based on pedological professional knowledge, soil property data of collected samples were extended to the full space of the study area, and subsequently, the Geographic Information System techniques was applied to explore the dynamic spatial-temporal change of arable soil organic matter and total nitrogen in three periods (1981, 2000 and 2008) of Hailun City in Heilongjiang Province. Generally, from 1981 to 2008, over 60% of the area of the arable land showed a decrease tendency in organic matter and total nitrogen, which distributed mostly in the middle and southwest regions. The decrease of organic matter mostly happened during the period 1981—2000 with a high decrement (over 15 g/kg). In contrast, during the period 2000—2008, the decrements of organic matter and the area of arable land that organic matter decreased became less, while at the same duration, the decrease of total nitrogen was still severe, in the middle and southwest regions over 70% of the arable land showed a decrease in total nitrogen and among of which 38% decreased over 0.50 g/kg.

Key words: Hailun City, Black soil, Arable land, Organic matter, Total nitrogen, Temporal-spatial variability