

来雪慧,任晓莉,安晓阳,等. 三江平原小流域土地利用类型与土壤理化性质的灰色关联分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(17):276-280.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.17.071

# 三江平原小流域土地利用类型与土壤理化性质的灰色关联分析

来雪慧,任晓莉,安晓阳,贺晓晨,白田宇

(太原工业学院环境与安全工程系,山西太原 030008)

**摘要:**以三江平原阿布胶河流域为研究区,分析了 0~10 cm、>10~20 cm 土层中旱地、水田、湿地、林地 4 种土地利用类型与土壤 pH 值、阳离子交换量、土壤粒径分布含量、土壤有机碳以及土壤养分含量的关联性。结果表明,对于同一土地利用类型,土壤 pH 值、阳离子交换量、有机碳含量、全氮含量、全磷含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量随着土层深度的加深而减小,而土壤粒径分布则没有明显的变化规律。相同土层中水田的 pH 值最大,湿地的阳离子交换量最大,林地的有机碳、氮、钾含量最高;而水田的磷含量则较高。同时,除全磷和有效磷含量外,湿地的有机碳、氮、钾含量均高于旱地和水田。按照灰色关联度大小,0~10 cm 土层各土地利用类型由大到小的排序为水田(0.863 7)>旱地(0.835 1)>湿地(0.717 1)>林地(0.573 6);>10~20 cm 土层的排序为湿地(0.986 0)>旱地(0.682 6)>水田(0.539 5)>林地(0.515 5)。综合分析,筛选出湿地为改善土壤理化性质和养分含量的最佳土地利用方式。

**关键词:**三江平原小流域;土地利用类型;土壤理化性质;加权灰色关联

**中图分类号:**S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)17-0276-05

三江平原是我国最大的沼泽湿地分布区,地势表现为西南高、东北低的趋势。由于自然和人为因素的影响,近 60 年来三江平原的土地利用结构发生了明显变化,由原来的湿地基质变为现在以农田为主要土地利用类型的国家重要粮食生

产基地<sup>[1]</sup>。对于土地利用方式与土壤理化性质之间的关系,国内研究主要集中在黄土高原区、东北黑土区、南方红壤区等地区<sup>[2-3]</sup>,国外研究更多的是印度碱性土和美国沙壤土等<sup>[4-5]</sup>。不同土地利用方式对小流域的土壤理化性质具有显著影响<sup>[6]</sup>,但目前对于三江平原的研究主要针对的是农田和湿地对土壤性质的影响<sup>[7]</sup>,对小流域的相关研究较少。本研究选取三江平原阿布胶河小流域为研究对象,通过灰色关联层次分析法探讨小流域不同土地利用类型对土壤理化性质的影响。这不仅有利于更多地考虑各影响因素的权重,同时也

收稿日期:2017-04-05

基金项目:山西省高等学校科技创新项目(编号:2014151);山西省自然科学基金(编号:2015011018)。

作者简介:来雪慧(1984—),女,山西大同人,博士,副教授,主要从事农业面源、环境规划研究。E-mail:laixuehui@mail.bnu.edu.cn。

[10]王海滨,韩立荣,冯俊涛,等. 高效纤维素降解菌的筛选及复合菌系的构建[J]. 农业生物技术学报,2015,23(4):421-431.

[11]徐杰,许修宏,刘月. 强化堆肥中木质纤维素降解的功能菌株筛选鉴定[J]. 中国土壤与肥料,2014(6):100-105.

[12]张喜庆,勾长龙,娄玉杰,等. 高效纤维素分解菌的分离鉴定及堆肥效果研究[J]. 农业环境科学学报,2016,35(2):380-386.

[13]Lane D J. 16S/23S rRNA Sequencing [M]//Stackebrandt E, Goodfellow M. Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics. West Sussex: John Wiley & Sons Limited, 1991:115-147.

[14]Zeng G M, Hong L H, Dan L H, et al. Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes[J]. Process Biochemistry, 2009, 44(4):396-400.

[15]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:433-440.

[16]刘旭. 奶牛粪便高效降解菌的筛选及混合菌发酵研究[D]. 成都:四川农业大学, 2005.

[17]聂文翰,戚志萍,冯海玮,等. 复合菌剂秸秆堆肥对土壤碳氮含量和酶活性的影响[J]. 环境科学, 2017, 38(2):783-791.

[18]Vinnerås B, Björklund A, Jönsson H. Thermal composting of faecal

matter as treatment and possible disinfection method—laboratory-scale and pilot-scale studies[J]. Bioresource Technology, 2003, 88(1):47-54.

[19]Margesin R, Cimadom J, Schinner F. Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2006, 57(2):88-92.

[20]Bernai M P, Paredes C, Sánchez-Monedero M A, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes[J]. Bioresource Technology, 1998, 63(1):91-99.

[21]Eklin Y, Kirchmann H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover[J]. Bioresource Technology, 2000, 74(2):115-124.

[22]Eklin Y, Kirchmann H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses[J]. Bioresource Technology, 2000, 74(2):125-133.

[23]Eklin Y, Sundberg C, Smårs S, et al. Carbon turnover and ammonia emissions during composting of biowaste at different temperatures[J]. Journal of Environmental Quality, 2007, 36(5):1512-1520.

为农业产业结构调整以及土地利用变化研究提供理论依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区选择在东北三江平原阿布胶河小流域,流域面积为  $142.5 \text{ km}^2$ ,属于季节性河流,由西向东汇入乌苏里江。研究区属寒温带季风性大陆气候,多年平均冻土深度约为  $141 \text{ cm}$ ,多年平均气温为  $2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。域内年均降水量为  $583.2 \text{ mm}$ ,5—9 月的降水量占多年平均年降水量的 75%。土壤类型以白浆土和沼泽土为主,其中白浆土占域内总面积的 60.7%。水田、旱地、湿地和林地为主要研究区主要的土地利用方式,占流域总面积的 93.3% (图 1)。阿布胶河流域林地以落叶阔叶林为主,农田的作物类型主要为玉米和水稻。流域内土壤表层  $0 \sim 20 \text{ cm}$  的有机质平均含量为  $38.3 \text{ g/kg}$ ,氮、磷含量的平均值分别为  $3.6$ 、 $1.0 \text{ g/kg}$ <sup>[8]</sup>。

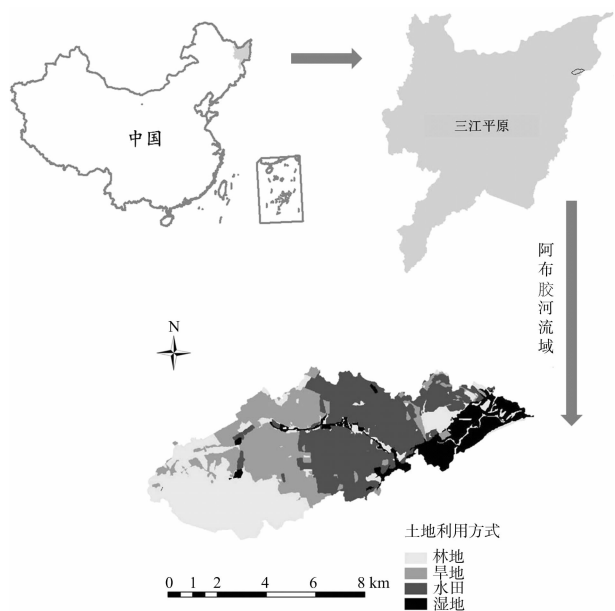


图1 小流域位置及土地利用类型

### 1.2 样品采集

根据三江平原阿布胶河的土地利用类型分布,选取旱地、水田、林地、湿地 4 种具有代表性的土地利用方式进行样品采集。考虑到研究区每年于 4 月底进行农田施肥,因此所有样品采集均于 2013 年 4 月中下旬完成。旱地、水田、林地、湿地分别选择 6 个样地,每个样地面积为  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ,土壤类型均为白浆土。2013 年 4 月初开始采样,每个样地按照“S”形选择 5 个样点,用体积为  $100 \text{ cm}^3$  的土壤环刀采集  $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $>10 \sim 20 \text{ cm}$  土层土壤,并分别取 2 层土壤的  $1 \text{ kg}$  混合土样,去除土样中的植物根系和沙石等杂物,装袋带回实验室测定其土壤理化性质。

### 1.3 测定方法

本研究的土壤样品采用中华人民共和国环境保护部的土壤监测规范方法相关标准进行测定。将所有土壤样品风干磨碎,一部分样品过  $1 \text{ mm}$  土筛测定土壤 pH 值,另一部分通过  $0.25 \text{ mm}$  土筛测定土壤阳离子交换量、粒径和土壤基本化学性质。土壤 pH 值通过酸度计测定;土壤阳离子交换量通过

将土样过  $60$  目土筛,之后再用电解法测定;土壤粒径通过吸管法测定。通过重铬酸钾-外加加热法测定土壤有机碳含量;土壤全氮和全磷含量分别采用半微量凯氏定氮法和酸溶-钼锑抗比色法测定;土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量则分别通过碱解扩散法、碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法和  $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提火焰光度法测定。

### 1.4 统计与分析

本研究结合三江平原阿布胶河流域的土壤实际情况,运用层次分析法 (AHP) 计算权重,并检验判断矩阵的一致性。通过灰色系统理论,分析不同土地利用类型的土壤理化性质的灰色关联度,以选取能够保持土壤性质和养分含量的最佳土地利用方式。所有数据采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析 ( $\alpha = 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用类型的土壤 pH 值、阳离子交换量和土壤粒径

土壤 pH 值和土壤阳离子交换量 (CEC) 与土壤有机质含量、粒径和紧实度等密切相关<sup>[9]</sup>。从表 1 可以看出,三江平原阿布胶河小流域水田土壤 pH 值在  $0 \sim 10 \text{ cm}$  和  $>10 \sim 20 \text{ cm}$  深度基本持平,其他 3 种土地利用方式下土壤 pH 值均随土层深度增加而减小。在  $0 \sim 10 \text{ cm}$  土层,水田土壤的 pH 值高于其他土地利用方式,但差异不显著;在  $>10 \sim 20 \text{ cm}$  土层,水田土壤的 pH 值明显高于旱地、湿地和林地土壤。4 种土地利用方式的土壤 pH 值在 2 个土层间差异不显著。土壤 CEC,除水田土壤外,其他 3 种土地利用方式在  $0 \sim 10 \text{ cm}$  土层均高于  $>10 \sim 20 \text{ cm}$  土层。在  $0 \sim 10 \text{ cm}$  土层,湿地土壤的 CEC 显著高于旱地、水田和林地;在  $>10 \sim 20 \text{ cm}$  土层中 4 种土地利用方式的 CEC 差异不显著,但湿地土壤的 CEC 仍然最高。

土壤粒径分布可以反映土壤肥力状况,土壤颗粒的不同组成是影响养分差异的主要原因<sup>[10]</sup>。阿布胶河流域不同土地利用方式的土壤粒径主要分布在  $0.002 \sim 2 \text{ mm}$  范围,均表现出  $<0.002 \text{ mm}$  的颗粒所占比例最小。在  $0 \sim 10 \text{ cm}$  土层,粒径分布在  $>0.2 \sim 2 \text{ mm}$  范围的土地利用类型比例由高到低为湿地  $>$  林地  $>$  水田  $>$  旱地,其中湿地和林地均大于 50%。在  $>10 \sim 20 \text{ cm}$  土层,旱地和湿地在  $0.002 \sim 0.2 \text{ mm}$  粒径范围内的比例低于  $>0.2 \sim 2 \text{ mm}$  粒径范围,而水田和林地则相反,但总体呈现出 4 种土地利用类型的土壤粒径在这 2 个范围的分布差异不明显。

### 2.2 不同土地利用类型的土壤有机碳含量

土壤有机碳是土壤的重要组成部分,直接影响着土壤碳循环。从表 2 可以看出,旱地、水田、林地、湿地在  $0 \sim 10 \text{ cm}$  土层的有机碳含量分别是  $>10 \sim 20 \text{ cm}$  土层的  $1.74$ 、 $1.70$ 、 $3.32$ 、 $2.45$  倍。除林地外,其他 3 种土地利用类型在 2 个深度的土壤有机碳含量差异显著。在  $0 \sim 10 \text{ cm}$  土层,林地和湿地的土壤有机碳含量高于其他 2 种类型土壤,且差异显著,旱地和水田的有机碳含量较低,差异不显著。在  $>10 \sim 20 \text{ cm}$  土层,林地土壤的有机碳含量也高于其他类型,为  $13.50 \text{ g/kg}$ ,而湿地土壤的有机碳含量最低,但不同土壤利用类型间差异不显著。表明林地中土壤有机碳含量较高,具有

表 1 不同土地利用类型在不同土层的 pH 值、阳离子交换量与粒径分布

土层深度 (cm)	土地利用类型	pH 值	阳离子交换量 (cmol/kg)	土壤粒径分布 (%)		
				<0.002 mm	0.002 ~0.2 mm	>0.2 ~2 mm
0 ~ 10	旱地	5.74 ±0.31aA	23.8 ±5.4bA	5.5 ±1.2aA	47.9 ±6.7aA	46.6 ±7.5aA
	水田	6.02 ±0.19aA	23.6 ±5.0bA	5.3 ±0.5aA	45.7 ±2.3aA	49.0 ±2.7aA
	湿地	5.82 ±0.72aA	37.1 ±14.4aA	5.0 ±2.1aB	37.0 ±15.2aB	58.0 ±17.2aA
	林地	5.75 ±0.19aA	23.6 ±3.7bA	4.4 ±0.7bA	39.2 ±5.0aA	56.4 ±5.6aA
> 10 ~ 20	旱地	5.67 ±0.50bA	19.5 ±4.1aA	6.5 ±2.2aA	46.1 ±11.7aA	47.4 ±13.7aA
	水田	6.03 ±0.22aA	24.7 ±6.2aA	6.0 ±1.2aA	48.6 ±3.9aA	45.4 ±4.7aA
	湿地	5.62 ±0.30bA	30.0 ±12.6aB	5.9 ±2.2aA	45.8 ±6.5aA	48.3 ±8.1aB
	林地	5.68 ±0.13bA	17.6 ±1.7aB	6.2 ±0.4aA	48.5 ±5.2aA	45.3 ±5.6aA

注:同列数据后不同小写字母表示不同土地利用方式在相同土壤深度的差异显著( $P<0.05$ );不同大写字母表示不同土壤深度间相同土地利用方式的差异显著( $P<0.05$ )。表 2 同。

提高碳含量的效果。

2.3 不同土地利用类型的土壤全氮、全磷含量

2.3.1 土壤全氮含量 从表 2 可以看出,不同土地利用类型 0~10 cm 土层的全氮含量高于 >10~20 cm 土层。其中,湿地、林地土壤 2 土层间的全氮含量差异显著,湿地表层土壤的全氮含量为 3.18 g/kg,是 >10~20 cm 土层的 3.12 倍。旱地、水田和林地的 0~10 cm 土层全氮含量分别是 >10~20 cm 土层的 1.38、1.38、2.46 倍。0~10 cm 土层 4 种土地利用类型的土壤全氮含量由高到低依次为林地>湿地>旱地>水田,林地和湿地显著高于旱地、水田。>10~20 cm 土层土壤全氮含量由高到低为旱地>林地>水田>湿地,湿地土壤的全氮含量明显低于其他 3 种土壤类型。整体而言,4 种

土地利用类型的土壤全氮含量随着土壤深度的增加而呈现降低的趋势,且林地具有较高的全氮含量。

2.3.2 土壤全磷含量 4 种土地利用类型土壤全磷含量在 0~10 cm 土层均明显高于 >10~20 cm 土层。旱地、水田、湿地和林地表层土壤的全磷含量分别是 >10~20 cm 土层含量的 1.33、1.31、1.71、1.58 倍。不同土地利用类型的土壤全磷含量在 0~10 cm 和 >10~20 cm 土层差异均显著。在 0~10 cm 土层,土壤全磷含量由高到低依次为林地>水田>湿地>旱地。林地的全磷含量为 0.98 g/kg,旱地的全磷含量为 0.77 g/kg,林地全磷含量是旱地土壤的 1.27 倍。在 >10~20 cm 土层,不同土地利用类型的土壤全磷含量由高到低为水田>林地>旱地>湿地(表 2)。

表 2 不同土地利用类型在不同土层的有机碳和养分含量

土层深度 (cm)	土地利用类型	有机碳含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
0 ~ 10	旱地	19.57 ±2.51bA	2.15 ±0.26bA	0.77 ±0.18aA	196.83 ±23.47bA	32.43 ±15.00aA	118.78 ±19.47aA
	水田	19.10 ±0.98bA	2.00 ±0.47bA	0.94 ±0.11aA	219.15 ±28.06bA	11.98 ±5.59aA	113.78 ±26.34aA
	湿地	26.79 ±2.96aA	3.18 ±0.50aA	0.84 ±0.37aA	274.52 ±26.49aA	9.08 ±2.39aA	171.13 ±66.83aA
	林地	33.09 ±18.29aA	3.81 ±2.17aA	0.98 ±0.54aA	276.32 ±101.88aA	13.59 ±7.44aA	294.95 ±167.49aA
> 10 ~ 20	旱地	11.24 ±5.04aB	1.56 ±0.67aA	0.58 ±0.20aB	115.60 ±41.33aB	6.24 ±3.36aB	85.09 ±19.74bA
	水田	11.24 ±3.24aB	1.45 ±0.30aA	0.72 ±0.14aB	141.83 ±71.36aB	6.83 ±0.86aB	106.99 ±15.12aA
	湿地	8.06 ±2.46aB	1.02 ±0.30bB	0.49 ±0.16aB	93.82 ±23.90aB	2.83 ±1.75bB	75.05 ±9.89bB
	林地	13.50 ±6.34aA	1.55 ±0.56aB	0.62 ±0.09aB	143.11 ±24.77aA	6.01 ±2.95aA	174.15 ±130.26aB

2.4 不同土地利用类型的土壤速效养分含量差异

2.4.1 土壤碱解氮含量 从表 2 还可以看出,不同土地利用类型在 0~10 cm 土层的土壤碱解氮含量高于 >10~20 cm 土层,其中旱地、湿地的差异显著。研究区湿地土壤的碱解氮含量相差最大,0~10 cm 土层是 >10~20 cm 土层的 2.93 倍,旱地、水田和林地 0~10 cm 土层则分别是 >10~20 cm 土层的 1.70、1.55 和 1.93 倍。表明同一土地利用类型 2 土层间的含量差异均超过 1.5 倍。在不同土层,林地土壤的碱解氮含量均最高,分别为 276.32、143.11 mg/kg。0~10 cm 土层 4 种土地利用类型的碱解氮含量由高到低依次为林地>湿地>水田>旱地;在 >10~20 cm 土层,则由高到低的变化规律为林地>水田>旱地>湿地。表明林地具有较好的提高速效氮养分的能力,同时随着土壤深度的增加,不同土地利用类型的速效氮养分含量逐渐减少。

2.4.2 土壤有效磷含量 旱地、水田、湿地和林地土壤有效

磷含量在 0~10 cm 土层分别是 >10~20 cm 土层的 5.20、1.75、3.21 和 2.26 倍。旱地和湿地的差异最大,旱地在 0~10 cm 和 >10~20 cm 土层的有效磷含量分别为 32.43、6.24 mg/kg。在 0~10 cm 土层,4 种土地利用类型间的有效磷含量差异不显著,旱地的含量最高,湿地最低。在 >10~20 cm 土层,研究区旱地、水田和林地土壤的有效磷含量明显高于湿地土壤。其中,水田土壤的有效磷含量最高,为 6.83 mg/kg,湿地土壤含量为 2.83 mg/kg(表 2)。

2.4.3 土壤速效钾含量 从表 2 还可以看出,0~10 cm 土层的旱地、水田、湿地和林地的土壤速效钾含量分别比 >10~20 cm 土层高 39.59%、6.35%、128.02% 和 69.37%,水田土壤的速效钾含量在不同土层间差异最小。在 0~10 cm 土层,4 种土地利用类型的速效钾含量差异不明显;在 >10~20 cm 土层,林地和水田的速效钾含量显著高于旱地和湿地。不同土层中,林地土壤的速效钾含量均最高,表明林地具有提高速

效钾养分的能力。

2.5 不同土地利用类型土壤理化性质的加权灰色关联分析

灰色关联法可以定量评价土地利用类型变化对土壤理化性质改变和土壤养分含量提高的效果。本研究选取三江平原阿布胶河流域土壤 pH 值、阳离子交换量、土壤粒径分布、有机碳、全氮含量、全磷含量、碱解氮含量、有效磷含量和速效钾

含量指标中的最大值为参考数列,将旱地、水田、湿地和林地的这些指标测定值进行比较,采用无量纲化处理(表 3)。然后通过灰色关联分析法计算不同土地利用类型的关联系数(灰色关联系数  $\xi = 0.5$ )和加权关联度。各土地利用类型间的关联度越大,说明所采用的措施对于改善土壤理化性质和养分含量具有的效果越好。

表 3 阿布胶河流域不同土地利用类型土壤物理性质和氮磷钾含量的无量纲化数据

土层 (cm)	土地利用 类型	pH 值	阳离子 交换量	土壤粒径分布			有机碳 含量	全氮 含量	全磷 含量	碱解氮 含量	有效磷 含量	速效钾 含量
				<0.002 mm	0.002 ~ 0.2 mm	>0.2 ~ 2 mm						
0 ~ 10	旱地	0.954 3	0.643 5	1.000 0	1.000 0	0.803 1	0.591 4	0.564 0	0.784 2	0.712 3	1.000 0	0.506 8
	水田	1.000 0	0.637 1	0.953 6	0.955 5	0.844 2	0.577 2	0.522 1	0.957 6	0.793 1	0.369 3	0.385 7
	湿地	0.954 6	0.635 6	0.787 8	0.819 0	0.972 6	0.809 5	0.833 3	0.858 6	0.993 5	0.279 9	0.580 2
	林地	0.967 0	1.000 0	0.902 0	0.772 6	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.419 1	1.000 0
>10 ~ 20	旱地	0.939 9	0.652 3	1.000 0	0.949 1	0.982 4	0.832 5	1.000 0	0.802 1	0.807 8	0.912 9	0.488 6
	水田	1.000 0	0.825 4	0.933 1	1.000 0	0.940 2	0.832 9	0.931 2	1.000 0	0.991 0	1.000 0	0.614 4
	湿地	0.942 0	0.587 2	0.957 8	0.998 6	0.938 3	0.597 3	0.656 5	0.689 5	0.655 5	0.414 0	0.431 1
	林地	0.931 1	1.000 0	0.909 8	0.943 7	1.000 0	1.000 0	0.993 9	0.870 4	1.000 0	0.880 2	1.000 0

根据三江平原阿布胶河流域的土壤情况,利用层次分析法重要性的等级标度,确定 11 个影响土壤理化因子的等级顺序并构建判断矩阵 **A**,进而计算各因子的权重(表 4)。

研究中需要对判断矩阵 **A** 的一致性进行检验,通过计算得到  $\lambda_{\max} = 11.86$ 。根据  $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ ,得到一致性指标  $CI = 0.086$ 。查表发现,11 阶矩阵的平均随机一致性指标  $RI = 1.51$ ,可知一致性比率  $CR = CI/RI = 0.057$   $0 < 0.1$ ,说明矩阵 **A** 可以通过一致性检验,数据科学可靠。

三江平原阿布胶河流域 4 种土地利用类型的各项理化指标权重和关联度见表 4。可以看出,0 ~ 10 cm 和 >10 ~ 20 cm 土层的关联度排序不同。在 0 ~ 10 cm 土层,水田的关联度最大,为 0.863 7,林地最小。说明土壤表层中水田对于保持土壤理化性质和养分的能力最优。在 >10 ~ 20 cm 土层,4 种土地利用方式的关联度排序为湿地 > 旱地 > 水田 > 林地,表明

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/7 & 1/7 & 1/5 & 1/8 & 1/5 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & 2 & 1/4 & 1/4 & 1/5 & 1/4 & 1/3 \\ 4 & 4 & 1 & 2 & 2 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/4 & 1/3 \\ 4 & 4 & 1/2 & 1 & 2 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1/4 & 1/3 \\ 4 & 4 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1/4 & 1/6 & 1/5 & 1/2 \\ 7 & 1/2 & 5 & 5 & 5 & 1 & 1 & 2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 7 & 4 & 5 & 5 & 5 & 1 & 1 & 3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 5 & 4 & 3 & 3 & 4 & 1/2 & 1/3 & 1 & 3 & 1/2 & 1 \\ 8 & 5 & 5 & 5 & 6 & 2 & 2 & 1/3 & 1 & 5 & 6 \\ 5 & 4 & 4 & 4 & 5 & 1 & 1 & 2 & 1/5 & 1 & 2 \\ 5 & 3 & 3 & 3 & 2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/6 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}。$$

该层湿地对于保持土壤养分和改善土壤物理指标的效果最好。

表 4 阿布胶河流域不同土地利用类型土壤理化指标的权重、关联系数和关联度

土层 (cm)	土地利 用类型	pH 值	阳离子 交换量	关联系数									关联度
				土壤粒径分布(%)			有机碳 含量	全氮 含量	全磷 含量	碱解氮 含量	有效磷 含量	速效钾 含量	
				<0.002 mm	0.002 ~ 0.2 mm	>0.2 ~ 2 mm							
0 ~ 10	旱地	1.000 0	0.978 5	0.629 2	0.612 9	1.000 0	0.962 1	0.895 8	1.000 0	1.000 0	0.333 3	0.748 3	0.835 1
	水田	0.887 4	0.995 9	0.684 7	0.663 1	0.897 5	1.000 0	1.000 0	0.674 9	0.816 7	0.801 1	1.000 0	0.863 7
	湿地	0.999 2	1.000 0	1.000 0	0.885 8	0.679 9	0.607 8	0.536 4	0.828 7	0.561 5	1.000 0	0.649 3	0.717 1
	林地	0.965 9	0.497 0	0.759 2	1.000 0	0.646 5	0.459 9	0.429 7	0.625 2	0.555 8	0.721 2	0.369 5	0.573 6
> 10 ~ 20	旱地	0.970 0	0.813 8	0.759 2	0.981 4	0.865 8	0.547 4	0.805 2	0.716 4	0.651 3	0.363 1	0.831 8	0.682 6
	水田	0.805 0	0.544 2	0.924 3	0.834 8	0.993 4	0.547 0	0.508 7	0.478 1	0.458 8	0.326 8	0.608 1	0.539 5
	湿地	0.963 1	1.000 0	0.855 6	0.838 2	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.986 0
	林地	1.000 0	0.408 0	1.000 0	1.000 0	0.821 8	0.414 0	0.457 4	0.611 3	0.452 3	0.378 9	0.333 3	0.515 5
权重		0.016 1	0.030 0	0.047 2	0.041 0	0.035 7	0.128 6	0.161 2	0.111 4	0.214 4	0.133 1	0.081 3	

3 讨论与结论

关于土壤有机碳含量与物理性质的关系研究较多,如土壤有机碳含量与 pH 值呈负相关关系,与土壤肥力、持水能力和阳离子交换量等呈正相关关系,但与土壤粒径分布几乎没有相关性<sup>[11]</sup>。本研究结果与前人报道一致,0 ~ 10 cm 和 >10 ~ 20 cm 土层林地土壤的有机碳含量较高,而其 pH 值偏

低,同时土壤的粒径分布与有机碳含量没有明显的关系。本研究中 4 种土地利用类型的土壤有机碳含量和阳离子交换量的正相关关系不明显,可能是由不同类型间的有机碳含量差异不明显和研究区土壤的机械组成引起的。0 ~ 10 cm 土层中,湿地土壤的阳离子交换量最大,为 37.1 cmol/kg,其有机碳含量为 26.79 g/kg,仅低于林地。>10 ~ 20 cm 土层中,湿地的阳离子交换量也最大,但其有机碳含量却最小。土壤阳

离子作为土壤保肥能力的评价指标,有必要在未来的研究中讨论二者之间的关系。

土壤有机质影响着土壤的保水保肥能力以及通透性<sup>[12]</sup>。本研究中旱地、水田、林地和湿地的表层枯落物,由于腐殖化作用导致土壤表层有机质含量高。东北土壤的黏土矿物以蒙脱石型土为主,进入土壤的有机质有助于形成大的团聚体,形成更多的孔隙。由于有机质的分解,会释放出氮磷,这样使得 0~10 cm 土层的土壤氮磷含量高于 >10~20 cm 土层。本研究结论与李成亮等研究得出的有机质含量提高可以促进全氮、有效氮的积累和程艳丽等研究得出的有机质和有效磷含量保持一致的结果<sup>[13-14]</sup>一致。

本研究中林地的有机碳含量在 0~10 cm 和 >10~20 cm 土层均最高。这是因为林地表层枯枝落叶较多,保护地面不受雨水的冲刷,同时林地形成的腐殖质大多呈中性,增加了土壤的孔隙,使得有机质可以随着林地凋落物归还土壤。有机质含量高导致氮磷转化旺盛,使得林地保持较高的土壤氮磷含量。在土壤表层,除总磷和有效磷含量外,湿地的其他养分含量均高于旱地和水田。一方面是因为湿地有机碳含量较高,使得土壤氮含量也高;另一方面是由于研究区湿地逐渐被开垦为水田,仅有的湿地中绝大部分被水田包围,受到水田的施肥影响也较大。而土壤磷素受施肥的影响大<sup>[15]</sup>,如果施用的磷肥少,就会导致土壤全磷和有效磷含量降低。旱地和水田作为农业用地,会受到人为施肥、翻耕等干扰,这样就增加了土壤的孔隙度<sup>[16]</sup>,使得土壤氮磷含量也较高。同时,由于阿布胶河流域耕地坡度小,可以减少由于地表径流引起的土壤养分流失。三江平原作为国家重要的粮食生产基地,施肥管理措施具有显著效果。有研究表明,施肥对土壤速效钾含量影响显著,而对全钾的影响却较小<sup>[17]</sup>。笔者研究了速效钾的含量,发现林地、湿地、旱地和水田 4 种土地利用类型的有机碳与速效钾含量也保持相似的变化态势。

三江平原阿布胶河流域不同土地利用类型的土壤 pH 值、有机碳含量、全氮含量、全磷含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量整体上随土壤深度的增加而减小;而土壤阳离子交换量和粒径分布没有明显的变化。由于土壤表层的凋落物、枯枝落叶的腐殖化作用,使得相同土层的林地和湿地有机碳含量基本高于旱地和水田,且 0~10 cm 土层湿地的有机碳和氮钾含量均高于旱地和水田。通过灰色关联综合分析,在 0~10 cm 和 >10~20 cm 土层,湿地对于改善土壤物理性质和保持土壤养分含量的能力最优。

通过加权灰色关联模型分析了不同土地利用类型对土壤理化性质的保持和改善作用,从而筛选出最优的土地利用类型,发现湿地是三江平原阿布胶河流域改良土壤性质的最佳土地利用方式,本研究结果可为后期研究土壤性质和面源污染提供理论支持。

## 参考文献:

- [1] 刘吉平,赵丹丹,田学智,等. 1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J]. 生态学报,2014,34(12):3234-3244.
- [2] 唐柄哲,何丙辉,闫建梅. 川中丘陵区土地利用方式对土壤理化性质影响的灰色关联分析[J]. 应用生态学报,2016,27(5):1445-1452.
- [3] 白一茹,王幼奇,展秀丽. 陕北农牧交错带土地利用方式对土壤物理性质及分布特征的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(8):1619-1627.
- [4] Datta A,Basak N,Chaudhari S K,et al. Soil properties and organic carbon distribution under different land uses in reclaimed sodic soils of North - West India[J]. Geoderma Regional,2015,4:134-146.
- [5] Yesilonis I,Szlavecz K,Pouyat R,et al. Historical land use and stand age effects on forest soil properties in the Mid - Atlantic US[J]. Forest Ecology and Management,2016,370:83-92.
- [6] 王莉,张强,牛西午,等. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(4):53-56.
- [7] Yang W J,Cheng H G,Hao F H,et al. The influence of land - use change on the forms of phosphorus in soil profiles from the Sanjiang Plain of China[J]. Geoderma,2012,189/190:207-214.
- [8] Lai X E,Hao F H,Ren X L. Loss characteristics of nitrogen and phosphorus in surface runoff with different land use types of a small watershed in freeze - thaw agricultural area[J]. Fresenius Environmental Bulletin,2015,24(11A):3780-3793.
- [9] 李卓,吴普特,冯浩,等. 容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J]. 土壤学报,2010,47(4):611-620.
- [10] 柳云龙,吕军,王人潮. 低丘侵蚀红壤复垦后土壤微生物特征研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2):64-67.
- [11] 李鉴霖,江长胜,郝庆菊. 缙云山不同土地利用方式土壤有机碳组分特征[J]. 生态学报,2015,35(11):3733-3742.
- [12] 黄昌勇,李保国,潘根兴,等. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 李成亮,孔宏敏,何园球. 施肥结构对旱地红壤有机质和物理性质的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(6):116-119.
- [14] 程艳丽,邹德乙. 长期定位施肥残留养分对作物产量及土壤化学性质的影响[J]. 土壤通报,2007,38(1):64-67.
- [15] 汪帆,林德喜,袁照年,等. 袋控施肥对甘蔗地土壤养分含量和酶活性的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(2):325-330.
- [16] 李民义,张建军,王春香,等. 晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(3):125-130.
- [17] 詹其厚,陈杰. 基于长期定位试验的变性土养分持续供给能力和作物响应研究[J]. 土壤学报,2006,43(1):124-132.