

王艳萍,胡文革,韩 晶,等. 新疆艾比湖湿地土壤有机质与速效养分时空变异及其相关性[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):360-363,447.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.122

# 新疆艾比湖湿地土壤有机质与速效养分时空变异及其相关性

王艳萍,胡文革,韩 晶,张晓红,武 菲,王翠华

(新疆石河子大学生命科学学院,新疆石河子 832003)

**摘要:**于不同时间采集了艾比湖湿地自然保护区博尔塔拉河、精河流域内 3 个典型样地的 4 个不同土层土壤,定量测定了其有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量,分析土壤各养分指标的时空变异特征及有机质含量与速效养分的相关性。结果表明,艾比湖湿地有机质含量总体较低,为 0.23%~4.27%;碱解氮平均含量为 32.08 mg/kg,处于较低水平,与土层深度呈显著负相关;速效磷平均含量为 24.21 mg/kg,处于中等水平,与采样时间呈极显著正相关;速效钾整体水平较高,平均含量达 246.07 mg/kg,与土层深度呈极显著负相关。有机质含量与碱解氮含量和速效钾含量呈极显著正相关;与速效磷含量相关不显著。土壤有机质含量影响艾比湖湿地土壤速效养分的含量。

**关键词:**艾比湖湿地;土壤有机质;土壤速效养分;时空变异

**中图分类号:** S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)12-0360-04

土壤质量是自然因素和人为因素对土地影响程度的体现,深入了解土壤质量的时空变异状况对土地质量的改善与可持续利用具有重要意义。土壤养分含量对评价土壤肥力水平高低具有很好的表征作用<sup>[1]</sup>,而土壤有机质和速效养分是衡量土壤健康状况的重要指标,也是反映土壤质量好坏的最主要且最直观的因子<sup>[2]</sup>。土壤质量的时空变异是指在一定的景观内,不同时间不同地点不同土层的土壤特征存在明显的差异性和多样性<sup>[3]</sup>。因此,研究土壤有机质和速效养分含量的时空变异特征可直观地反应土壤质量的时空变异特征。

新疆艾比湖湿地是中国内陆干旱区湖泊的典型代表,属湖泊湿地、沼泽湿地及河流湿地的组合,兼具这几种湿地类型的特性<sup>[4]</sup>;而博尔塔拉河、精河作为其重要的补给水源,其变化直接牵动着艾比湖的动态变化,进而影响到艾比湖流域乃至整个北疆地区的人文环境,再加上常年来自阿拉山口大风的影响,沙尘天气已越来越常见<sup>[5]</sup>。因此,加强对艾比湖流域土壤质量的监测,对其养分状况的时空变异特质进行分析,对湿地恢复及防沙抗沙过程中的土壤响应具有非常重要的现实意义和借鉴作用<sup>[6]</sup>。

目前,艾比湖湿地自然保护区存在的主要问题是土地质量下降,荒漠化严重,同时随着经济建设步伐的加快及人口的大量增长造成建设用地增加;此外,土地开发缺乏流域整体统一规划<sup>[7]</sup>。本研究对艾比湖湿地自然保护区土壤的有机质及速效养分含量进行定量测定,分析其时空变异特征和有机

质与速效养分的相关性,以期了解保护区土壤的养分状况,为湿地恢复工作的有效性评价及湿地的可持续利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

艾比湖湿地位于新疆维吾尔自治区博乐市东北部,距博乐市 40 km,地跨精河县、博乐市和阿拉山口口岸区,地处东经 82°36'~83°50',北纬 44°37'~45°15',为加强其自然环境与自然资源的保护管理,2000 年 6 月新疆维吾尔自治区人民政府将其 2 670.85 km<sup>2</sup> 划定建立了保护区,2007 年 4 月晋升为国家级自然保护区。艾比湖湿地是我国西部的国门湖泊,是准噶尔盆地西南缘最低洼地和水源汇集中心,属典型的温带大陆性干旱气候,光照充足,冬夏冷热悬殊,干燥少雨,多大风。近年来,研究区农田耕作的机械化程度逐步提高,土地利用更加集约化,使得土壤质量受到影响<sup>[8-9]</sup>。

### 1.2 样品采集

本研究采用多点采样的方法,分别于 2012 年 4 月、2012 年 7 月和 2012 年 10 月在艾比湖湿地国家级自然保护区选取了鸟岛保护站湖滨区(SP1)、博河入湖口观鸟台草甸区(SP2)、精河盐场漫滩区(SP3)3 个典型样地取土样,每个样地在水平方向上以 300 m 为间隔取 3 个采样点,每个采样点内随机刨 3 个坑,去除表层的植被,分层采集 0~5.0 cm、5.1~15.0 cm、15.1~25.0 cm 和 25.1~35.0 cm 4 个不同土层的土壤样品,将同一样地、同一采样点、同一土层的土壤混合均匀后进行分装,共 108 份。采样点基本情况见表 1。

### 1.3 研究方法

取回的土样,经风干、去杂、过 100 目筛后用于测定土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量。有机质含量测定用重铬酸钾容量法-外加热法;碱解氮含量用碱解扩散法;速效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;速效钾含量测定用乙酸铵浸提-火焰光度法。

收稿日期:2014-02-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31160026);石河子大学高层次人才科研启动资金(编号:RCZX201010)。

作者简介:王艳萍(1987—),女,硕士研究生,从事微生物生态学研究。E-mail:18209053165@163.com。

通信作者:胡文革,博士,副教授,从事微生物分子生态学研究。E-mail:hwg-t@163.com。

表 1 艾比湖湿地自然保护区采样点基本情况

样地	地点	经纬度	海拔(m)	主要植被类型
SP1	精河鸟岛保护站湖滨区	82°48'51.6"~82°49'30.0"E,44°50'13.5"~44°50'11.5"N	192	柽柳灌丛、盐节木群落
SP2	博河入湖口观鸟台草甸区	82°41'33.2"~82°41'11.1"E,44°51'42.3"~44°51'49.6"N	194	芦苇草甸群落
SP3	精河盐场漫滩区	82°55'50.2"~82°56'15.8"E,44°47'26.2"~44°47'17.0"N	189	盐角草荒漠

1.4 数据统计与分析

用 Excel 和 SPSS 17.0 统计软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质含量的时空分布特征

新疆艾比湖湿地土壤有机质含量的分布情况如表 2 所示,有机质含量平均变异范围为 0.23%~4.27%,其中样地 SP1 为 0.23%~0.80%,样地 SP2 为 0.75%~4.27%,样地 SP3 为 0.53%~0.78%。表明艾比湖湿地土壤有机质含量在整体范围内分布不均匀,且变异较大。3 个样地土壤有机质含量平均大小为:SP2 (2.40%)>SP3 (0.62%)>SP1 (0.49%)。在垂直梯度上,随着采样土层深度的增加,有机质含量逐渐减小。0~5.0 cm 的表土层,土壤有机质含量最高,平均为 1.72%;5.1~15.0 cm 和 15.1~25.0 cm 中间土层土壤有机质含量分别为 1.24% 和 0.93%;25.1~35.0 cm 深土层,土壤有机质含量只有 0.78%。在采样时间尺度上,土壤有机质含量 4 月份最大,均值为 1.40%,7 月份减小为 1.05%,10 月份时又有一定的回升,为 1.06%。众所周知,土壤有机质是土壤非常重要且极其稳定的一个性质,它的积累是一个非常漫长的过程。然而,表 2 却显示了与此相悖的结果,相同样地、相同土层、不同采样时间的有机质含量存在一定的差异。这可能是由 GPS 全球定位系统在精度上存在大约 5 m 的偏差所引起<sup>[10]</sup>。

根据全国第二次土壤普查土壤分级标准<sup>[5]</sup>,本试验将新疆艾比湖湿地土壤有机质含量分为 6 个等级(表 3)。由表 3 可见,艾比湖湿地土壤有机质含量较低,甚至匮乏。

方差分析结果表明,有机质含量的分布在样地、土层深度及采样时间 3 个尺度上差异不显著。

2.2 土壤碱解氮含量的时空分布特征

从图 1 可以看出,艾比湖湿地土壤碱解氮含量的变异范围为 3.50~126.00 mg/kg,平均含量为 32.08 mg/kg,3 个样地中,SP2 的碱解氮含量最高,变异范围为 16.33~126.00 mg/kg,平均为 72.53 mg/kg;SP1 次之,其变异范围为 3.50~23.33 mg/kg,平均为 12.64 mg/kg;SP3 最低,变异范围为 5.83~21.00 mg/kg,平均含量为 11.08 mg/kg。依据全国第二次全国土壤普查标准<sup>[5]</sup>,艾比湖湿地土壤碱解氮含量较低。在垂直梯度上,艾比湖湿地土壤碱解氮含量在 0~35.0 cm 土壤各层中其平均含量呈下降趋势。在 0~5.0 cm 的表土层,碱解氮平均含量可达到 48.22 mg/kg,在 5.1~15.0 cm 的中间土层,为 36.82 mg/kg,在 15.1~35.0 cm 的深土层,仅为 21.65 mg/kg。在采样时间尺度上,碱解氮平均含量随着采样时间的推移,呈现出先减小后增大的趋势。4 月份时,碱解氮平均含量为 35.68 mg/kg;7 月份时,仅为 27.32 mg/kg;10 月份时,有了一定的回升,为 33.25 mg/kg。总体来讲,艾比湖湿地土壤碱解氮含量水平较低。

表 2 艾比湖湿地土壤有机质含量时空分布情况

样地	时间	土层深度 (cm)	有机质(%)				
			最小值	最大值	均值	标准差	变异系数
SP1	4 月份	0~5.0	0.26	1.57	0.80	0.56	69.90
		5.1~15.0	0.28	0.71	0.50	0.17	34.08
		15.1~25.0	0.22	0.69	0.46	0.18	39.22
		25.1~35.0	0.28	0.86	0.48	0.25	52.93
	7 月份	0~5.0	0.43	1.12	0.76	0.28	37.12
		5.1~15.0	0.24	0.67	0.50	0.19	36.93
		15.1~25.0	0.17	0.34	0.23	0.06	25.24
	10 月份	25.1~35.0	0.15	0.41	0.30	0.10	33.12
		0~5.0	0.41	0.99	0.72	0.24	32.71
		5.1~15.0	0.43	0.80	0.62	0.14	23.00
		15.1~25.0	0.13	0.34	0.23	0.09	40.05
		25.1~35.0	0.09	0.39	0.25	0.12	46.76
SP2	4 月份	0~5.0	1.29	6.45	4.20	2.13	50.77
		5.1~15.0	0.54	8.18	3.62	3.36	92.66
		15.1~25.0	0.43	5.59	2.26	2.07	91.57
		25.1~35.0	0.75	3.33	1.79	1.03	57.71
	7 月份	0~5.0	2.80	6.13	4.27	1.34	31.41
		5.1~15.0	1.40	3.33	2.33	0.72	30.96
		15.1~25.0	0.65	2.04	1.18	0.65	55.30
		25.1~35.0	0.54	0.97	0.75	0.16	21.43
	10 月份	0~5.0	0.54	4.20	2.90	1.70	58.48
		5.1~15.0	0.07	3.37	2.01	1.43	71.10
		15.1~25.0	0.61	2.73	1.95	0.95	48.92
		25.1~35.0	0.11	2.65	1.52	1.06	69.96
SP3	4 月份	0~5.0	0.18	1.22	0.57	0.44	76.93
		5.1~15.0	0.22	0.79	0.54	0.21	38.73
		15.1~25.0	0.22	1.61	0.75	0.58	77.00
		25.1~35.0	0.54	1.11	0.78	0.23	29.46
	7 月份	0~5.0	0.32	0.93	0.55	0.26	47.92
		5.1~15.0	0.22	0.90	0.53	0.26	49.75
		15.1~25.0	0.36	0.97	0.59	0.22	36.73
		25.1~35.0	0.36	0.75	0.55	0.14	25.26
	10 月份	0~5.0	0.36	1.18	0.67	0.34	50.47
		5.1~15.0	0.36	0.72	0.54	0.15	27.69
		15.1~25.0	0.61	0.93	0.74	0.09	12.57
		25.1~35.0	0.25	0.82	0.60	0.24	39.80

注:样本数均为 12 个。

方差分析结果表明,碱解氮含量在土层深度尺度上差异显著,而在样地和采样时间尺度上差异不显著。

2.3 土壤速效磷含量的时空分布特征

按照反映离散程度的变异系数的大小可进行土壤质量的变异性分级。通常认为变异系数≤10% 时为弱变异,介于 10%~100% 为中等变异,而≥100% 为强变异<sup>[8]</sup>。由图 2 可知,新疆艾比湖湿地土壤速效磷含量处于中等水平,速效磷含量的变异范围为 18.86~30.23 mg/kg,平均含量为 24.21 mg/kg,变异系数为 11.57%,属于中等变异。但是,对于

表 3 艾比湖湿地土壤有机质含量等级分布情况

时间	土层深度 (cm)	有机质含量等级分布比例(%)					
		1 级 ( >4% )	2 级 (3% ~4% )	3 级 (2% ~3% )	4 级 (1% ~2% )	5 级 (0.6% ~1% )	6 级 ( <0.6% )
4 月份	0 ~5.0	22.22	0	0	29.63	14.82	33.33
	5.1 ~15.0	11.11	0	11.11	0	29.63	48.15
	15.1 ~25.0	11.11	0	0	18.52	18.52	51.85
	25.1 ~35.0	0	7.41	3.70	22.22	40.74	25.93
7 月份	0 ~5.0	14.81	11.11	7.41	11.11	22.22	33.33
	5.1 ~15.0	0	11.11	7.41	14.81	25.93	40.74
	15.1 ~25.0	0	0	11.11	0	33.33	55.56
	25.1 ~35.0	0	0	0	0	37.04	62.96
10 月份	0 ~5.0	11.11	11.11	0	11.11	29.63	37.04
	5.1 ~15.0	0	11.11	11.11	0	37.04	40.74
	15.1 ~25.0	0	0	22.22	0	44.44	33.33
	25.1 ~35.0	0	0	11.11	11.11	22.22	55.56

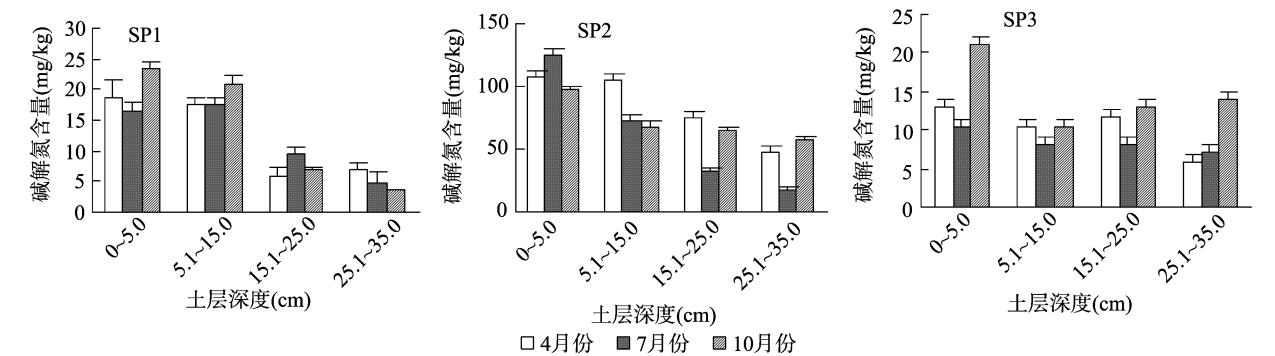


图1 艾比湖湿地土壤碱解氮含量的时空分布特征

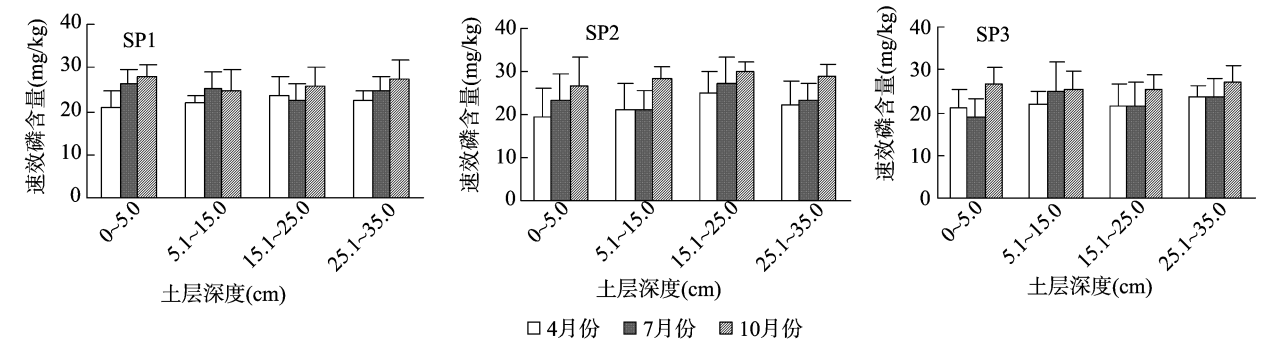


图2 艾比湖湿地土壤速效磷含量的时空分布特征

不同的样地其变异情况又各不相同。其中,SP2 速效磷含量最高,变异范围为 19.30 ~ 30.23 mg/kg,平均为 24.73 mg/kg,变异系数为 14.44%,为中等变异;SP1 速效磷含量次之,变异范围为 20.79 ~ 27.74 mg/kg,平均含量为 24.50 mg/kg,变异系数为 8.98%,为弱变异;SP3 速效磷含量最低,变异范围为 18.86 ~ 26.97 mg/kg,平均为 23.40 mg/kg,变异系数为 10.58%,为中等变异。表明,新疆艾比湖湿地自然保护区土壤速效磷在样地间含量变化不大。在垂直梯度上,艾比湖湿地 3 个样地在 4 个土层中速效磷含量的变化不大,且没有表现出特定的规律。在时间尺度上,随着采样时间的推移,速效磷含量逐渐增加。4 月份速效磷平均含量为 22.07 mg/kg;7 月份速效磷平均含量增加至 23.52 mg/kg;10 月份速效磷平均含量可达 27.04 mg/kg。

方差分析结果表明,速效磷含量在采样时间尺度上差异

显著,随采样时间的推移,速效磷含量增加。而速效磷含量在样地和土层深度尺度上差异不显著。

2.4 土壤速效钾含量的时空分布特征

由图 3 可以看出,新疆艾比湖湿地土壤速效钾含量整体水平较高,速效钾含量变异范围为 118.19 ~ 448.75 mg/kg,平均值达 246.07 mg/kg。其中,SP3 速效钾含量最高,变异范围为 182.43 ~ 387.19 mg/kg,平均为 259.27 mg/kg;SP2 速效钾含量次之,变异范围为 122.20 ~ 448.75 mg/kg,平均为 245.22 mg/kg;SP1 速效钾含量最低,变异范围为 118.19 ~ 434.03 mg/kg,平均为 233.73 mg/kg。不同样地在垂直梯度上,土壤速效钾含量存在一定的差异。对于 SP1 和 SP2,随着采样土层深度的增加,土壤速效钾含量先减小后基本保持不变;对于 SP3,采样土层深度对其速效钾含量影响不大。在采样时间尺度上,速效钾含量在不同样地、不同土层深度的土样

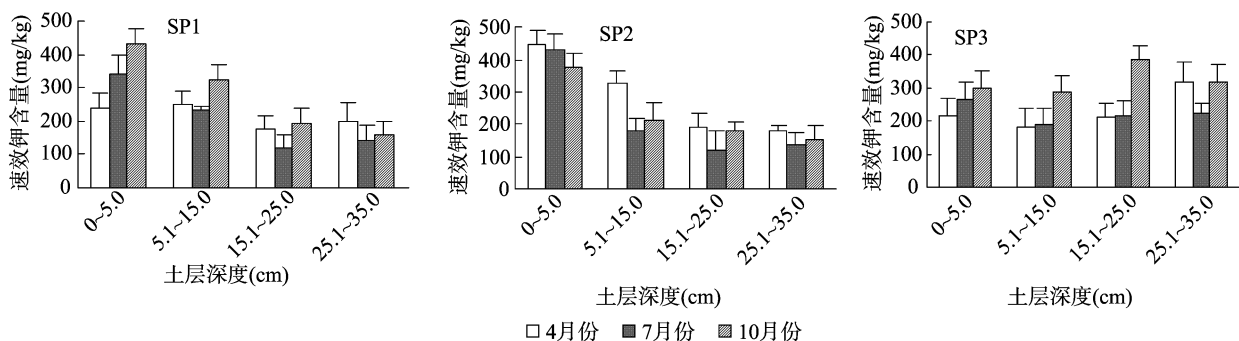


图3 艾比湖湿地土壤速效钾含量的时空分布特征

中分布较复杂,没有表现出特定的规律。

方差分析结果表明,速效钾含量在土层深度尺度上差异显著,速效钾含量与土层深度呈极显著负相关;而速效钾含量在样地和采样时间尺度上差异不显著。

## 2.5 土壤养分含量在时空尺度上的相关性

表4为艾比湖湿地土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾4个养分指标与样地、采样深度、采样时间3个尺度的相关性分析表,从表中可以看出,碱解氮含量与采样深度呈显著负相关关系;速效磷含量与采样时间呈极显著正相关关系;速效钾含量与采样深度呈极显著负相关关系。

## 2.6 土壤有机质与速效养分的相关性

对新疆艾比湖湿地不同样地、不同采样时间、不同土层深

表4 艾比湖湿地土壤养分含量在各个尺度上的相关性

时空尺度	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾
样地	0.049	-0.019	-0.164	0.116
土层深度	-0.322	-0.334 *	0.207	-0.555 **
采样时间	-0.126	0.029	0.736 **	0.143

注: \*、\*\* 分别表示相关性达 0.05 和 0.01 显著水平。

度的土壤有机质与速效养分的相关性进行分析,结果如图4所示。从图4可看出,艾比湖湿地土壤有机质与碱解氮含量的相关系数为 0.981,呈极显著正相关关系;与速效磷含量相关不显著;与速效钾含量呈极显著正相关关系,相关系数为 0.452。表明土壤有机质含量影响着艾比湖湿地自然保护区土壤速效养分的含量。

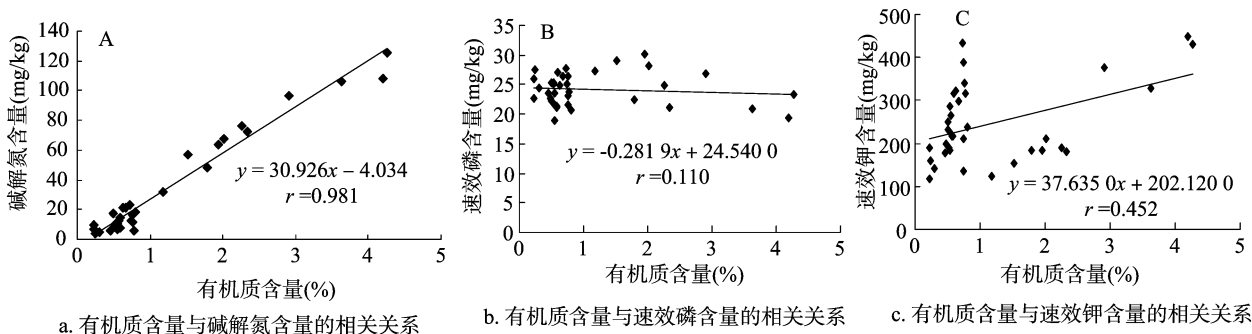


图4 艾比湖湿地土壤有机质含量与速效养分的相关关系

## 3 讨论

土壤有机质含量和速效养分含量受多种因素的影响,处于不断的变化当中<sup>[11]</sup>。在湿地特殊的水文条件和植被条件下,湿地土壤有着自身独特的形成和发育过程,表现出不同于一般陆地土壤的特殊的理化性质和生态功能,这些性质和功能对于湿地生态系统平衡的维持和演替具有重要作用<sup>[12-13]</sup>。因此,加强对湿地土壤养分状况的研究对进一步了解和掌握湿地生态系统有着重要意义。

研究结果表明,艾比湖湿地有机质含量总体偏低;碱解氮含量处于较低水平,且其含量与土层深度呈显著负相关;速效磷含量保持在中等水平,其含量与采样时间呈极显著正相关;速效钾含量整体水平较高,其含量与土层深度呈极显著负相关。总体来讲,艾比湖湿地土壤养分含量较低,土壤肥力不高。

研究结果还显示,艾比湖湿地土壤质量呈现出博河入湖口观鸟台草甸区(SP2) > 鸟岛保护站湖滨区(SP1) > 精河盐场漫滩区(SP3),即博尔塔拉河区域 > 精河区域。土壤是地

球环境中一个非常重要的组成部分,是植被赖以生存的物质基础,土壤的各种基本性状都能通过直接或间接途径影响植物生长<sup>[14]</sup>。因此,艾比湖湿地土壤质量与植被分布有着一定的关系。博河植被分布广,且植被类型较丰富,而精河植被较为单一,且盖度不足,这也从侧面印证了博尔塔拉河流域土壤养分状况优于精河流域的土壤。

相关分析结果表明,有机质含量与碱解氮含量存在极显著的相关性,相关系数为 0.981;与速效磷含量相关不显著;与速效钾含量极显著正相关。表明,艾比湖湿地土壤中有机质的转化与氮素、钾素循环关系密切,且相互影响,但与磷素转化相关性较差<sup>[5]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 庞 凤,李廷轩,王永东,等. 土壤速效氮、磷、钾含量空间变异特征及其影响因子[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1): 114-120.

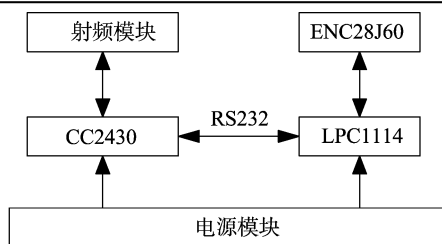


图4 网关节点

由图 4 可以看出,协调器节点以 CC2430 作为主控芯片,集成射频天线可以与传感器网络的终端或者中继节点通信;协调器节点和 LPC1114 协议转换芯片之间以 RS232 接口通信,而 LPC1114 可以以 SPI 接口与网口芯片之间互传数据,网口芯片通过 RJ45 接口与服务器之间以直接或者间接方式连接,以 Socket 协议传输数据和命令<sup>[9]</sup>。

#### 4 软件设计

传感器信息的采集、无线自组网通信、以太网数据传输、信息的远程网络发布和管理都需要软件系统的配合才能实现。软件设计的目标是实现无线传感器网络信息的采集、透明传输和远程访问。传感器节点工作流程如图 5 所示。

#### 5 结论

温室环境参数的采集对温室生产至关重要,本研究针对温室环境参数难以监测的实际情况,根据温室环境控制要求,提出基于 ZigBee 技术设计温室 WSN 监测系统。该系统具有稳定可靠、通信效率高、能耗低、监测精度高等特点,试验结果表明,该温室 WSN 监测系统能准确采集温室环境参数,并可实现保存和查询历史数据,从而有效提高温室环境种植的科学性、客观性,提高温室生产水平。

#### 参考文献:

[1] 张佐经,张海辉,翟长远,等. 设施农业环境因子无线监测及预警系统设计[J]. 农机化研究,2010,32(11):78-82.

(上接第 363 页)

- [2] 孙宗玖,朱进忠,张鲜花,等. 放牧强度对昭苏草甸草原土壤有机质及速效养分的影响[J]. 草业科学,2013,30(7):987-993.
- [3] 邱 扬,王 勇,傅伯杰,等. 土壤质量时空变异及其与环境因子的时空关系[J]. 地理科学进展,2008,27(4):42-50.
- [4] 徐欢欢,曾从盛,王维奇,等. 艾比湖湿地土壤有机碳垂直分布特征及其影响因素分析[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2010,26(5):86-91.
- [5] 毛吉旦木·地力夏提,王勇辉,海米提·依米提·博,精河下游河岸带土壤速效养分空间异质性分析[J]. 水土保持研究,2012,19(6):19-23.
- [6] 金海龙,白 祥,满中龙,等. 新疆艾比湖湿地自然保护区土壤空间异质性研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(2):150-157.
- [7] 王勇辉. 艾比湖流域土壤理化性质现状分析及成因研究[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学,2007.
- [8] 谢正宇,李文华,谢正君,等. 艾比湖湿地自然保护区生态系统服

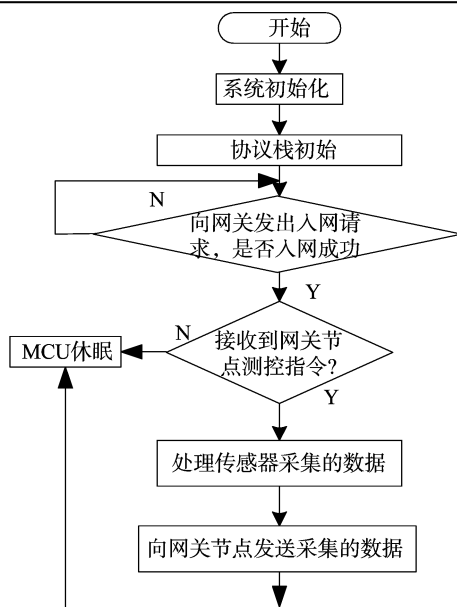


图5 节点工作流程

- [2] 鲍军民. ZigBee 技术在温室监控系统中的应用[J]. 农机化研究,2008(2):184-187.
- [3] Gislason D. ZigBee wireless networking[M]. USA: Newnes, 2008: 33-122.
- [4] 韩廷阁,李书琴. 基于 ZigBee 的土壤湿度无线采集系统节点设计[J]. 农机化研究,2010,32(12):154-159.
- [5] 侯佳佳. 基于 ZigBee 的温室 WSN 监测系统的设计与研究[D]. 镇江:江苏大学,2009.
- [6] 赵 铮,于宏毅. IEEE 802.15.4 MAC 协议分析与仿真评估[J]. 计算机工程与应用,2007,43(4):119-121,130.
- [7] 杨啸宇,孙 杰,熊 瑛. 基于 STM32 的无线传感器网关设计[J]. 天津理工大学学报,2011,27(2):21-26.
- [8] 熊迎军. 基于物联网的设施农业环境监控系统关键技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [9] 路顺涛. 无线传感器网络技术在设施农业中的研究与应用[D]. 南京:南京农业大学,2012.

- 务功能价值评估[J]. 干旱区地理,2011,34(3):532-540.
- [9] 胡江玲,张 高. 新疆精河流域土壤质量空间分异规律分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(6):113-121.
- [10] Wilms R, Sass H, Kopke B, et al. Specific bacterial, archaeal, and eukaryotic communities in Tidal-Flat sediments along a vertical profile of several meters[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 72(4): 2756-2764.
- [11] 陈婵娟,肖 斌,余有本,等. 陕南茶园土壤有机质和 pH 值空间变异及其与速效养分的相关性[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(1):182-188.
- [12] 田应兵,宋光煜,艾天成. 湿地土壤及其生态功能[J]. 生态学杂志,2002,21(6):36-39.
- [13] 崔 巍,李 伟,张曼胤,等. 湿地土壤生态功能研究概述[J]. 中国农学通报,2011,27(20):203-207.
- [14] 刘晓敏. 祁连山青海云杉林土壤理化性质的空间变异性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2012.