

安徽省典型区域农村生活污水处理技术适用性评估

徐海峰¹, 王翔宇², 匡武²

(1. 六安市环境信息与宣教中心, 安徽六安 237000; 2. 安徽省环境科学研究院, 安徽省污水处理技术研究重点实验室, 安徽合肥 230022)

摘要 以农村生活污水处理技术为研究对象, 通过对安徽省典型区域农村生活污水处理技术、处理效果和运行情况及存在问题的调查和分析, 总结安徽省农村生活污水排放特点及处理难点。并针对安徽省典型区域排污特征及排放去向, 研究、评估典型污水处理工艺。从有效性、经济性、可行性 3 个方面筛选评价指标, 通过德尔菲法确定各评价指标的权重, 构建农村生活污水处理技术评价指标体系, 研究不同典型区域典型工艺的适用性, 以期今后安徽省内各不同典型区域农村生活污水处理工艺的选择提供借鉴。

关键词 农村生活污水; 适用性; 评估

中图分类号 X 703 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)19-0191-05

Applicability Assessment of Rural Domestic Wastewater Treatment Technology in Typical Area of Anhui Province

XU Hai-feng¹, WANG Xiang-yu², KUANG Wu² (1. Lu'an Environmental Information and Education Center, Lu'an, Anhui 237000; 2. Provincial Key Lab. of Research on Wastewater Treatment Technology, Anhui Research Academy for Environmental Science, Hefei, Anhui 230022)

Abstract Taking rural domestic sewage treatment technology as the research object, through the investigation and analysis of rural domestic sewage treatment technology, treatment effect and operation situation and existing problems in typical areas of Anhui Province, the characteristics of rural domestic sewage discharge in Anhui Province and the difficulties of treatment are summarized. The typical sewage treatment process is studied and evaluated according to the characteristics of sewage discharge and the direction of discharge in typical areas of Anhui Province. The evaluation index is selected from 3 aspects of effectiveness, economy and feasibility. Through the determination of the weight of each evaluation index by Delphi Method, the evaluation index system of rural domestic sewage treatment technology is constructed, and the applicability of typical regions in different typical regions is studied, in order to provide references for the selection of rural domestic sewage treatment processes in different typical areas of Anhui Province in the future.

Key words Rural domestic sewage; Applicability; Evaluation

近几年, 国家不断加大农村生活污水治理的工作力度, 取得了一定的成效, 但基层治理效果不佳的问题日益凸显^[1]。一是由于处理工艺过于简单, 出水水质达不到排放要求, 对改善地表水富营养化作用不明显。二是工程建设质量较差, 严重影响设施处理效果。三是运行维护不善, 重建轻管理的现象比较普遍。四是农村地区环境和经济社会发展水平差异很大, 缺少针对性评估指导是目前亟需解决的问题, 也是研究的热点。

沈丰菊等^[2]利用模糊积分模型进行评估。孔赞等^[3]利用德尔菲法对农村污水处理工艺进行综合效能评估。夏训峰等^[4]采用模糊优劣系数法对农村生活污水处理技术进行优选评价。骆其金等^[5]采用以吨水占地面积评估为限制性因素评估, 费用效益分析为核心因素评估, 层次分析+灰色关联度为次重因素评估的“三步式”综合评估方法, 对农村生活污水处理技术进行了筛选研究。

寻找适合的评估技术是农村环境保护工作的迫切需要, 如何建立正确、适宜、针对性强的评估体系, 切实提高农村生活污水处理水平也是目前研究的难点。

1 安徽省典型区域分布及处理难点

受安徽省农村地域、生活水平、生活习惯、气候等的影响, 农村生活污水的特性与城镇污水具有明显的差异, 成熟

的城镇污水处理技术难以直接用于农村生活污水的处理。而且安徽省农村生活污水处理的研究起步较晚, 工艺种类繁多, 并且缺少相关的农村污水处理政策和法规, 缺乏相关的设计规范和标准, 因此如何根据安徽省农村实际情况划分不同的典型区域, 选择能适应安徽省大部分典型区域的处理工艺显得尤为重要。

根据安徽省农村地域、生活水平、生活习惯、气候特点并参照《安徽省村庄规划编制标准》各典型区域划分(图 1), 总结安徽省典型区域特征见表 1。



图 1 安徽省不同片区划分

Fig. 1 Map of different districts in Anhui Province

基金项目 安徽省科技创新战略与软科学研究专项重点课题“安徽省水污染防治技术指导目录编制研究”项目; 安徽省省级环境保护科研项目(2016-07)。

作者简介 徐海峰(1972—), 男, 安徽肥西人, 工程师, 从事环境技术评估、辐射项目管理等方面研究。

收稿日期 2018-05-04

表1 安徽省村庄典型区域特征

Table 1 Typical characteristics of villages in Anhui Province

编号 No.	区位 Location	村庄人口分布 Population distribution in villages	经济水平特征 Characteristics of economic level	村庄发展阶段 The stage of village development	地形地貌特征 Topographic and geomorphic features	生活污水特性 Characteristics of domestic sewage
1	皖北	稠密	低	落后	平原	水量小、浓度低
2	皖中	居中	居中	发展中	丘陵	水量较大、浓度较高
3	沿江	较稠密	高	发达	平原	水量大、浓度较高
4	皖西	稀疏	低	落后	山区	水量小、浓度较小
5	皖南	稀疏	居中	相对发达	山区	水量大、浓度高

根据实际情况及安徽省水质特性和执行标准现状,总结安徽省农村生活污水处理存在难点如下:①水质水量波动大,早午晚出现一次水量高峰,南北水质差异大。②氮磷含量高,处理难度大。③运行管理难度高,缺乏专业的运行维护人员。④容易受地方经济特色影响,农村生活污水经常混杂雨水或者家庭手工作坊废水,造成废水组成复杂。⑤处理技术研究起步较晚,并且缺乏相关的污水处理政策和法规,相关的设计规范和标准也未正式出台,出水执行标准不高。

2 农村生活污水处理技术适用性评判

农村生活污水处理工程设施的建设与运行受自然地理条件和社会经济特征的复杂影响,因此在农村生活污水处理设施的示范与推广中,处理工艺的选择不仅要考虑其先进性,还要考虑其对特定地区的适宜性,即应选择先进适用工艺。综合考虑农村生活污水处理工艺的有效性、经济性和可行性,工艺的先进性重点考虑农村生活污水处理工艺的有机物去除率和脱氮除磷效果;工艺的经济性考察农村生活污水处理工艺的基建成本、运行成本、占地面积和经济收益;工艺的可行性考察农村生活污水处理工艺的技术稳定性、管理方便性和环境适宜性。依据国家环境保护发布的农村生活污染控制技术政策,结合安徽省农村地区的实际状况,参考相关文献^[6-8],对农村生活污水处理工艺指标进行细化和筛选,建立了农村生活污水处理工艺3级评价指标体系,见图2。

2.1 评价指标权重确定 采用特尔斐法,根据指标重要确定相应的分值,对每一层各指标在该层中的重要性进行评价,并给出分值。

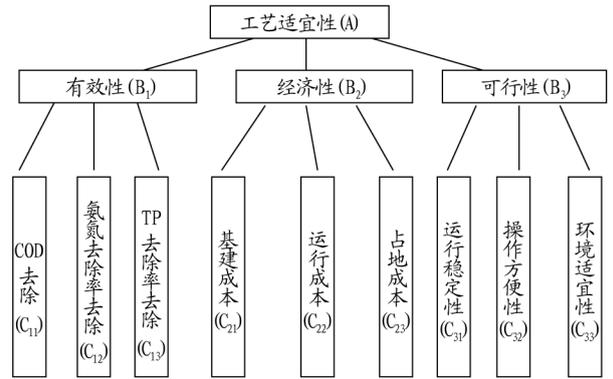


图2 农村生活污水处理技术评价指标体系

Fig. 2 Rural sewage treatment technology evaluation index system

有效性指标:主要从化学需氧量(COD)去除率、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)去除率、总磷(TP)去除率等指标进行考核。总分40分,其中COD去除率15分、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率15分、TP去除率10分。

经济指标:主要从工程投资、运行费用和占地面积等指标进行考核。总分30分,其中工程投资10分,运行费用10分,占地面积10分。

可行性指标:主要从运行稳定性、管理方便性和环境适应性进行考核。总分30分,其中运行稳定性10分、管理方便性10分,环境适应性10分。

2.2 评分标准 采用特尔斐法确定综合效能层次体系各指标分值。根据指标性能优劣程度确定相应的分值,专家对每一层各指标在该层中的优劣程度进行评价,并给出分值。确定安徽省农村生活污水处理工程评价标准见表2。

表2 农村生活污水处理技术评估标准

Table 2 Rural sewage treatment technology evaluation criteria

性能指标 Performance index	评估分值 Evaluation score//分	评价等级及分值 Evaluation grade and score				
		差 Bad	较差 Poor	中等 Middling	较好 Preferably	好 Good
COD去除率 COD removal rate	15	低(<40%) 3分	较低(40%~60%) 6分	中等(60%~70%) 9分	较好(70%~90%) 12分	高(>90%) 15分
氨氮去除率 Ammonia nitrogen removal rate	15	低(<40%) 3分	较低(40%~60%) 6分	中等(60%~70%) 9分	较好(70%~90%) 12分	高(>90%) 15分
总磷去除率 Total phosphorus removal rate	10	低(<40%) 2分	较低(40%~60%) 4分	中等(60%~70%) 6分	较好(70%~90%) 8分	高(>90%) 10分
基建投资 Infrastructure investment	10	高(>5 000元/t水) 2分	较高(4 000~ 5 000元/t水)4分	中等(3 000~ 4 000元/t水)6分	较低(2 000~ 3 000元/t水)8分	低(<2 000元/t水) 10分
运行费用 Operating cost	10	高(>0.4元/d) 2分	较高(0.3~0.4元/d) 4分	中等(0.2~0.3元/d) 6分	较低(0.1~0.2元/d) 8分	低(<0.1元/d) 10分

续下表

续表 2

性能指标 Performance index	评估分值 Evaluation score//分	评价等级及分值 Evaluation grade and score				
		差 Bad	较差 Poor	中等 Middling	较好 Preferably	好 Good
占地面积 Area covered	10	高(>10 m ² /户) 2分	较高(8~10 m ² /户) 4分	中等(6~<8 m ² /户) 6分	较低(4~<6 m ² /户) 8分	低(<4 m ² /户) 10分
运行稳定性 Operation stability	10	低 2分	较低 4分	中等 6分	较高 8分	高 10分
管理方便性 Convenience of management	10	低 2分	较低 4分	中等 6分	较高 8分	高 10分
环境适应性 Environmental adaptability	10	低 2分	较低 4分	中等 6分	较高 8分	高 10分

2.3 备选方案的确定 参考目前国内外农村生活污水处理工艺研究和应用现状,选取安徽省使用较为普遍的农村生活污水处理的工艺作为备选方案集,分析各种工艺的性能指标及其适用条件(表 3),评估其在不同典型区域(皖北、皖中、沿江、皖南、皖西)的得分情况。

表 3 农村处理技术性能分析

Table 3 Analysis of rural treatment technical performance

技术 Technology	去除效果 Removal efficiency	能否去除氮磷 Nitrogen and phosphorus removal or not	抗冲击性能 Shock resistance	运维性能 Operation and maintenance performance	是否节能 Energy conservation or not	能否中水回用 Water reuse or not	能否污泥减量 Sludge reduction or not	占地面积 Area covered
延时曝气法 Extended aeration process	高	否	好	要求高	否	否	能	一般
接触氧化法 Contact oxidation method	高	能	好	要求高	否	否	否	一般
曝气生物滤池 Biological aerated filter	高	能	好	要求低	否	否	否	一般
生物膜法 Biofilm method	很高	能	好	要求高	否	能	否	较小
厌氧处理法 Anaerobic treatment	低	否	好	要求低	是	否	能	一般
稳定塘 Stable pond	一般	能	好	要求低	是	否	能	大
人工湿地 Artificial wetland	一般	能	好	要求低	是	否	能	较大
净化槽 Purification tank	高	能	好	要求高	是	否	能	小
沼气池 Biogas pool	一般	能	好	要求低	是	否	能	小
高负荷渗滤田 High load percolation field	很高	能	好	要求低	是	能	能	一般
太阳能微动力 Solar energy microdynamics	很高	能	好	要求低	是	能	能	较大
跌水充氧 Fall water oxygenation	很高	能	好	要求低	是	能	能	一般

选定 4 种工艺典型工艺进行典型区域的得分评估,4 种工艺分别如下:①工艺一。粪水+沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地污水处理。②工艺二。太阳能微动力生物接触氧化法+人工湿地或稳塘污水处理。③工艺三。厌氧池+跌水接触氧化+人工湿地或生态渠沟污水处理。④工艺四。粪水+厌氧池+TBO 污水处理技术。

3 典型农村生活污水处理工艺评估

3.1 有效性评估 由表 4 可知,沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地有效性略低于其他 3 种工艺,太阳能微动力生物接触氧化法+人工湿地工艺有效性最高,并且在有效性方面适用于安徽全省。

表 4 有效性评估得分

Table 4 Effectiveness assessment score

区位 Location	沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地 Biogas purification pond or anaerobic pond + stabilization pond or constructed wetland				太阳能微动力生物接触氧化法+人工湿地 Solar powered micro dynamic biological contact oxidation + constructed wetland			
	COD 去除率 COD removal rate	NH ₃ -N 去除率 NH ₃ -N removal rate	TP 去除率 TP removal rate	小计 Total	COD 去除率 COD removal rate	NH ₃ -N 去除率 NH ₃ -N removal rate	TP 去除率 TP removal rate	小计 Total
	rate	rate	rate	Total	rate	rate	rate	Total
皖北 Northern Anhui	9	9	9	27	15	15	10	40
皖中 Middle Anhui	9	9	9	27	15	15	10	40
沿江 Along the river	9	9	9	27	15	15	10	40
皖西 Western Anhui	12	9	9	30	15	15	10	40
皖南 Southern Anhui	12	9	9	30	15	15	10	40
区位 Location	厌氧池-跌水接触氧化+人工湿地或生态渠沟 Anaerobic pond + drop contact oxidation + artificial wetland or ecological ditch				厌氧池+TBO+后处理 Anaerobic pool +TBO+ post treatment			
	COD 去除率 COD removal rate	NH ₃ -N 去除率 NH ₃ -N removal rate	TP 去除率 TP removal rate	小计 Total	COD 去除率 COD removal rate	NH ₃ -N 去除率 NH ₃ -N removal rate	TP 去除率 TP removal rate	小计 Total
	rate	rate	rate	Total	rate	rate	rate	Total
皖北 Northern Anhui	15	12	8	35	15	12	10	37
皖中 Middle Anhui	15	12	8	35	15	12	10	37
沿江 Along the river	15	12	8	35	15	12	10	37
皖西 Western Anhui	15	12	8	35	15	12	10	37
皖南 Southern Anhui	15	12	8	35	15	12	10	37

3.2 经济性评估 由表5可知,沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地经济性略高于其他3种工艺,太阳能微动力

生物接触氧化法(太阳能市电互补)+人工湿地工艺经济性最低,主要是基建成本高于其他3种工艺,得分最低。

表5 经济性评估得分

Table 5 Economic evaluation score

分

区位 Location	沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地 Biogas purification pond or anaerobic pond + stabilization pond or constructed wetland				太阳能微动力生物接触氧化法+人工湿地 Solar powered micro dynamic biological contact oxidation + constructed wetland			
	基建成本	运行成本	占地面积	小计	基建成本	运行成本	占地面积	小计
	Infrastructure cost	Running cost	Area covered	Total	Infrastructure cost	Running cost	Area covered	Total
皖北 Northern Anhui	10	10	6	26	6	8	8	22
皖中 Middle Anhui	10	10	6	26	6	8	8	22
沿江 Along the river	10	10	6	26	6	8	8	22
皖西 Western Anhui	10	10	6	26	6	8	8	22
皖南 Southern Anhui	10	10	6	26	6	10	8	24

区位 Location	厌氧池-跌水接触氧化+人工湿地或生态渠沟 Anaerobic pond + drop contact oxidation + artificial wetland or ecological ditch				厌氧池+TBO+后处理 Anaerobic pool +TBO+ post treatment			
	基建成本	运行成本	占地面积	小计	基建成本	运行成本	占地面积	小计
	Infrastructure cost	Running cost	Area covered	Total	Infrastructure cost	Running cost	Area covered	Total
皖北 Northern Anhui	8	8	6	22	8	10	8	26
皖中 Middle Anhui	10	8	6	24	8	10	8	26
沿江 Along the river	10	8	6	24	8	10	8	26
皖西 Western Anhui	10	8	6	24	8	10	8	26
皖南 Southern Anhui	10	8	6	24	8	10	8	26

3.3 可行性评估 由表6可知,太阳能微动力生物接触氧化法(太阳能市电互补)+人工湿地工艺与厌氧池+TBO+后处理可行性最强,厌氧池-跌水接触氧化+人工湿地或生态渠

沟在皖南的可行性最高,这是因为皖南多丘陵地带,可以利用地势差兴建工程。

表6 可行性评估得分

Table 6 Feasibility assessment score

分

区位 Location	沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地 Biogas purification pond or anaerobic pond + stabilization pond or constructed wetland				太阳能微动力生物接触氧化法+人工湿地 Solar powered micro dynamic biological contact oxidation + constructed wetland			
	运行稳定性	管理方便性	环境适应性	小计	运行稳定性	管理方便性	环境适应性	小计
	Operation stability	Convenience of management	Environmental adaptability	Total	Operation stability	Convenience of management	Environmental adaptability	Total
皖北 Northern Anhui	6	10	10	26	10	8	8	26
皖中 Middle Anhui	8	10	10	28	10	8	10	28
沿江 Along the river	8	10	10	28	10	8	10	28
皖西 Western Anhui	8	10	6	24	10	8	10	28
皖南 Southern Anhui	8	10	6	24	10	8	10	28

区位 Location	厌氧池-跌水接触氧化+人工湿地或生态渠沟 Anaerobic pond + drop contact oxidation + artificial wetland or ecological ditch				厌氧池+TBO+后处理 Anaerobic pool +TBO+ post treatment			
	基建成本	运行成本	占地面积	小计	基建成本	运行成本	占地面积	小计
	Infrastructure cost	Running cost	Area covered	Total	Infrastructure cost	Running cost	Area covered	Total
皖北 Northern Anhui	10	6	6	22	10	8	10	28
皖中 Middle Anhui	10	6	6	22	10	8	10	28
沿江 Along the river	10	6	6	22	10	8	10	28
皖西 Western Anhui	10	8	10	28	10	8	8	26
皖南 Southern Anhui	10	8	10	28	10	8	8	26

3.4 整体适宜性评估 由表7可知,太阳能微动力生物接触氧化法+人工湿地工艺总体得分最高,在皖中(沿江)与皖南(皖西)适应性评价为“很好”。在皖北适应性评价也为“好”,说明该工艺能够高效处理安徽省农村生活污水,总体污染物去除效率高,微动力运行大大降低了吨水投资和运行费用,且工艺成熟稳定性高,微电脑全自动控制,运行维护十分简便。总体来说可以适用于安徽省全境,只是在皖北使用时需要谨慎考虑其工艺是否受冬季温度的影响。

用,且工艺成熟稳定性高,PLC全自动控制,运行维护十分简便适用于安徽省全省,只是在皖南、皖西使用时需谨慎考虑其环境适应性与占地面积。

厌氧池+跌水接触氧化+人工湿地或生态渠沟在皖南(皖西)、皖中(沿江)适宜性评价为“好”,在皖北使用时适宜性评价为“较好”。说明该工艺能够较好地处理安徽省农村生活污水,总体污染物去除效率较高,利用地势差运行可大大降低了吨水投资和运行费用,但是因为该工艺的使用需考虑其环境适宜性,主要适用于存在地势差的皖南、皖西地区,平原地区使用时需谨慎考虑水泵提升的可行性。

沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地在皖南(皖西)、皖中(沿江)适宜性评价为“好”,在皖北使用时适宜性

厌氧池+TBO+后处理总体得分较高,在皖中(沿江)与皖北适宜性评价为“很好”。在皖南(皖西)的评价为“好”,说明该工艺能够高效处理安徽省农村生活污水,总体污染物去除效率高,高负荷微动力运行大大降低了吨水投资和运行费

评价为“较好”。说明该工艺能够较好地处理安徽省农村生活污水,总体污染物去除效率较高,无动力运行可大大降低

吨水投资和运行费用。该工艺经济性很好,主要适用于经济较为落后的村庄。

表7 整体适宜性评估得分

Table 7 Overall suitability assessment score

分

区位 Location	沼气净化池或厌氧池+稳定塘或人工湿地 Biogas purification pond or anaerobic pond + stabilization pond or constructed wetland				太阳能微动力生物接触氧化法+人工湿地 Solar powered micro dynamic biological contact oxidation + constructed wetland			
	有效性 Effectiveness	经济性 Economical efficiency	可行性 Feasibility	小计 Total	有效性 Effectiveness	经济性 Economical efficiency	可行性 Feasibility	小计 Total
皖北 Northern Anhui	27	26	26	79	40	22	26	88
皖中 Middle Anhui	27	26	28	80	40	22	28	90
沿江 Along the river	27	26	28	80	40	22	28	90
皖西 Western Anhui	30	26	24	80	40	22	28	90
皖南 Southern Anhui	30	26	24	80	40	24	28	92

区位 Location	厌氧池-跌水接触氧化+人工湿地或生态渠沟 Anaerobic pond + drop contact oxidation + artificial wetland or ecological ditch				厌氧池+TBO+后处理 Anaerobic pool +TBO+ post treatment			
	基建成本 Infrastructure cost	运行成本 Running cost	占地面积 Area covered	小计 Total	基建成本 Infrastructure cost	运行成本 Running cost	占地面积 Area covered	小计 Total
皖北 Northern Anhui	35	22	22	79	37	26	28	91
皖中 Middle Anhui	35	24	22	81	37	26	28	91
沿江 Along the river	35	24	22	81	37	26	28	91
皖西 Western Anhui	35	24	24	83	37	26	26	89
皖南 Southern Anhui	35	24	24	83	37	26	26	89

4 结语

(1)该研究建立了一个能够反映技术有效性、技术经济性及技术适宜性的农村生活污水治理技术评价指标体系。该指标体系不仅能评价农村生活污水治理技术的性能水平,也可评价农村生活污水治理技术对特定地区的适宜程度,可为农村生活污水治理技术示范、推广项目优选评价先进、适用的工艺技术。

(2)该研究建立的基于特尔斐法的农村生活污水治理技术适宜性评估体系,可通过评判农村生活污水治理技术的性能水平与应用地区对农村生活污水治理的技术需求特征的匹配程度来评判技术方案的适宜性,在此基础上测算各备选方案的分值从而得到最佳方案。与其他方法不同的是,该方法更强调农村生活污水治理的适用性,有助于提高农村生活污水治理技术的推广应用效果。

(3)通过对4项典型工艺进行适宜性评估,评价出4项技术在不同典型区域的适宜性。结合实际情况验证了该研

究所建立的评价方法的应用具有较好的合理性,能够反映当地的实际状况,可为不同分区、分级的农村基层组织提供优选评价与决策分析,并给中部其他气候、地理特征相似区域提供借鉴。

参考文献

[1] 亓玉军,魏英华,侯述光.农村生活污水治理现状及对策研究[J].环境科学与管理,2014,39(6):98-100.

[2] 沈丰菊,张克强,李军幸,等.基于模糊积分模型的农村生活污水治理模式综合评价方法[J].农业工程学报,2014,30(15):272-280.

[3] 孔赞,朱光灿,张亚平,等.农村生活污水治理工艺综合效能评估[J].东南大学学报(自然科学版),2012,42(3):473-477.

[4] 夏训峰,王明新,闵慧,等.基于模糊优劣系数法的农村生活污水治理技术优选评价方法[J].环境科学学报,2012,32(9):2287-2293.

[5] 骆其金,钟昌琴,谌建宇,等.农村生活污水治理技术评估方法与案例研究[J].环境工程技术学报,2016,6(2):105-110.

[6] 匡武,王翔宇,周其胤,等.提高低C/N值农村生活污水中TN去除效果[J].环境工程学报,2015,9(9):4252-4258.

[7] 孙丽.微动力接触氧化法处理军营生活污水示范研究[J].环境科学,2013,39(2):19-22.

[8] 桂双林,王顺发,吴永明,等.生物滤塔-人工湿地组合工艺对农村生活污水净化效果研究[J].环境工程学报,2011,5(10):2312-2314.

[9] 赵培信.多元正态分布均值向量检验的R软件实现[J].电脑知识与技术,2012(31):7501-7503.

[10] 邱有梅,王飞权,罗盛财,等.不同季节武夷名丛茶树种质资源生化成分分析[J].西北农业学报,2012,21(10):117-122.

[11] 郑崇吉,范瑞芳,李冬如,等.凤凰单丛茶不同季节、不同部位生物活性物质及金属离子含量分析[J].广东茶业,2009(4):26-30.

[12] 黄一帆.ICP-AES测定茶中微量元素的含量[J].光谱实验室,2009,26(1):107-109.

[13] 方兴汉,吴采.茶树某些矿质元素缺乏症的研究[J].中国茶叶,1984(6):23-25.

[14] 何萍萍.不同农作物中元素富集与拮抗效应的研究[D].合肥:中国科学技术大学,2003.

[15] ZAICHICK V,ZAICHICK S,KARANDASHEV V,et al.The effect of age and gender on Al,B, Ba,Ca,Cu,Fe,K,Li,Mg,Mn,Na,P,S,Sr,V, and Zn contents in rib bone of healthy humans[J].Biol Trace Elem Res,2009,129(1/2/3):107-115.

[16] 韩文炎,许允文.铜与锌对茶树生育特性及生理代谢的影响IV.锌对茶树体内矿质元素含量及分布的影响[J].茶叶科学,1996,16(1):13-18.

[17] 陈学文,廖金才,罗一帆.岭头单丛茶微量元素和黄酮含量与季节的关系[J].中国民族民间医药杂志,2006(3):174-176.

[18] 林琼,许旋.不同季节苦丁茶叶的微量元素和黄酮含量的测定[J].中国民族民间医药杂志,2005(4):240-242.

[19] 韩效钊,刘文宏,汪贵玉,等.茶园测土配肥及其叶面营养调理研究[J].安徽农业科学,2008,36(2):642-643.

[20] 伍炳华,韩文炎,姚国坤.不同品种茶树体内矿质元素的分布及动态变化[J].中国茶叶,1990(6):20-21.

[21] 冉登培.贵州地区茶叶微量元素分析及稀土影响因素探究[D].重庆:西南大学,2014.

[22] 高婷.商南茶区生态环境与茶叶品质综合评价研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.

[23] 范延良,张丽霞,向勤程,等.泰安茶区不同品种嫩梢生化成分的季节差异分析[J].山东农业科学,2017,49(3):58-63.

(上接第187页)