



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

马铃薯淀粉加工废水还田利用对土壤养分及重金属的影响

赵博超, 王雪婷, 窦广玉, 朱克松, 苑喜男, 刘刚, 潘潞轩

引用本文:

赵博超, 王雪婷, 窦广玉, 等. 马铃薯淀粉加工废水还田利用对土壤养分及重金属的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 666-671.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0251>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新疆奴拉赛铜矿周边土壤理化特征和重金属污染生态风险评价

迪娜·吐尔生江, 李典鹏, 胡毅, 杨磊, 徐晓龙, 贾宏涛

农业资源与环境学报. 2018, 35(1): 17-23 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0159>

不同种类有机物对污染农田土壤重金属活性的影响

倪中应, 邱志腾, 石一珺, 章明奎

农业资源与环境学报. 2017, 34(6): 517-524 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0146>

宁夏贺兰县土壤重金属分布特征及其生态风险评价

周勤利, 王学东, 李志涛, 王夏晖, 何俊, 季国华

农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 513-521 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0191>

某炼钢厂周边农田土壤重金属污染状况的调查与评价

谢团辉, 胡聪, 陈炎辉, 徐芹磊, 王果

农业资源与环境学报. 2018, 35(2): 155-160 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0014>

赣南某原地浸析稀土尾矿复垦前后土壤质量变化

周彩云, 张嵌, 赵小敏, 万广越, 程晓迪, 郭熙

农业资源与环境学报. 2019, 36(1): 89-95 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0042>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

赵博超, 王雪婷, 窦广玉, 等. 马铃薯淀粉加工废水还田利用对土壤养分及重金属的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 666–671.

ZHAO Bo-chao, WANG Xue-ting, DOU Guang-yu, et al. Effect of returning potato starch processing wastewater on nutrients and heavy metals in soils[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(5): 666–671.



开放科学 OSID

马铃薯淀粉加工废水还田利用 对土壤养分及重金属的影响

赵博超¹, 王雪婷¹, 窦广玉¹, 朱克松¹, 苑喜男¹, 刘刚², 潘涔轩^{1*}

(1. 中国环境科学研究院, 国家环境保护生态工业重点实验室, 北京 100012; 2. 中国科学院兰州化学物理研究所, 兰州 730000)

摘要: 为了研究马铃薯淀粉加工废水还田利用对农田土壤养分及重金属的影响, 选取宁夏固原市6家马铃薯淀粉生产企业, 分别采集施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤样品, 通过配对样本 *t* 检验和综合指数评价分析土壤养分及土壤重金属含量的变化。结果表明: 农田土壤各项重金属指标配对样本 *t* 检验结果 $P>0.05$, 表明施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的各企业农田土壤中各项重金属含量无显著差异; 各企业土壤环境综合指数配对样本 *t* 检验结果 $P>0.05$, 表明施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤整体环境质量与未施用的相比无显著差异, 与土壤各项重金属配对样本 *t* 检验分析结论相互印证。土壤养分配对样本 *t* 检验结果 $P<0.05$, 施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤各项养分含量显著提高, 参考北京市土壤养分分等定级标准的综合指数评价法分析, 农田土壤养分由未施用马铃薯淀粉加工废水时的中级(土壤养分综合指数 $I=53$)水平提升到施用后的高级($I=83$)水平。研究表明, 马铃薯淀粉加工废水还田利用在增加土壤肥力的同时不会造成农田土壤重金属含量的显著变化。

关键词: 马铃薯淀粉; 加工废水; 土壤环境质量; 土壤养分; 综合质量指数

中图分类号: X712

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2020)05-0666-06

doi: 10.13254/j.jare.2019.0251

Effect of returning potato starch processing wastewater on nutrients and heavy metals in soils

ZHAO Bo-chao¹, WANG Xue-ting¹, DOU Guang-yu¹, ZHU Ke-song¹, YUAN Xi-nan¹, LIU Gang², PAN Cen-xuan^{1*}

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of Eco-Industry, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to study the effects of potato starch processing wastewater on nutrients and heavy metals in soils, we selected six potato starch production enterprises in Guyuan City, Ningxia and measured soil nutrients and heavy metals on farmlands irrigated with potato starch wastewater from commercial processing companies. Paired *t*-tests and comprehensive index evaluations were used to test changes in soil nutrients and heavy metals in farmland soil samples with and without irrigation using potato starch processing wastewater. No significant difference in heavy metals was observed between the two treatments ($P>0.05$). We also found no significant differences using comprehensive index evaluation, indicating no significant differences between treatments regarding soil quality, as confirmed by the previous analysis. Moreover, soil nutrient content was significantly improved on farmlands irrigated with potato starch processing wastewater ($P<0.05$). The comprehensive index (*I*) evaluation method of the grading standard also indicated significantly increased soil nutrients on farmland with potato starch processing wastewater irrigation ($I=83$) when compared with soils that did not receive wastewater irrigation (intermediate level, $I=53$). Therefore, our results suggest that irrigation with potato starch processing wastewater increases soil fertility without significantly increasing soil heavy metal content.

Keywords: potato starch; processing wastewater; soil quality; soil nutrients; comprehensive quality index

收稿日期: 2019-05-10 录用日期: 2019-08-22

作者简介: 赵博超(1987—), 男, 黑龙江青冈人, 硕士, 工程师, 主要从事废弃物资源化利用研究。E-mail: phdzbc0814@163.com

*通信作者: 潘涔轩 E-mail: pancenx@sina.com

氮、磷、钾是作物生长所必需的营养元素,其养分主要通过施用无机化肥提供。无机化肥的长期过量施用使土壤有机质减少以及发生酸化,导致土壤板结及次生盐碱化^[1-3],肥料中过量的氮、磷通过地表径流和渗滤造成水体富营养化以及土壤、地下水污染等农业面源污染问题^[4-8],与此同时化肥有效利用率明显下降^[9]。近年来,有机肥料特别是农牧业废弃物,如畜禽粪便、植物秸秆等在农业上取得较好的应用成果。胡诚等^[10]研究长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响,结果表明长期施用生物有机肥的土壤肥力明显提高,土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、微生物生物量碳含量增加。安婷婷等^[11]研究施用有机肥对黑土团聚体有机碳的影响,结果表明施用有机肥显著增强了土壤的团聚(粒)化作用,改善土壤结构,可在一定程度上抵消耕作对团聚体的破坏作用。

马铃薯淀粉加工废水产生于马铃薯清洗过程、马铃薯浆液的分离过程以及淀粉精制洗涤过程,是一种富含小颗粒淀粉、多糖、纤维、蛋白、磷、钾的高浓度有机废水^[12],直接排入水体会造成水体恶臭、富营养化等危害。目前针对马铃薯淀粉加工废水的治理技术以厌氧-好氧联合生物处理方式为主^[13-15],其他处理技术还包括电絮凝法^[16]、电化学法^[17]、Fenton-厌氧法^[18]等,但由于马铃薯淀粉加工主要集中在西北、华北、东北地区,生产季节气温低、时间短(通常不足3个月),这些技术往往面临投资费用大、运行成本高、难以稳定达标排放等问题。且废水达标治理本身也是一种资源浪费,如何在经济、技术可行的情况下处理马铃薯淀粉加工废水已成为企业发展的关键环节。马铃薯淀粉加工废水还田利用是解决这一难题的有

效途径,目前在黑龙江、内蒙古、宁夏、甘肃等地已有实际应用,但国家尚未出台马铃薯淀粉加工废水还田利用的标准和实施指南,还田利用对土壤耕层土壤养分及环境质量的影响也缺乏整体论述。本研究选取宁夏固原市6家马铃薯淀粉生产企业,分别采集企业未施用马铃薯淀粉加工废水的土壤及施用3~10年马铃薯淀粉加工废水的土壤样品,检测土壤环境质量及土壤养分的相关指标,通过配对样本 t 检验和综合指数评价分析马铃薯加工废水还田利用对土壤养分及重金属的影响,以期为马铃薯淀粉加工废水的还田利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点与时间

选择宁夏固原市6家马铃薯淀粉企业的自有流转土地,企业每年在马铃薯淀粉生产结束后(11—12月)将马铃薯淀粉加工废水施用于作物收获后的空闲农田,于当年12月底前施用完成,施用量约 $3\,000\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,施用的马铃薯淀粉加工废水成分见表1。施用马铃薯加工废水的农田翌年种植青贮玉米、马铃薯等作物,种植时不再施用化肥和其他有机肥,不施用马铃薯淀粉加工废水的农田种植时根据作物需求施用尿素、磷酸二氢钾等氮、磷、钾化肥。

土壤采样时间为2018年9月25—26日。

1.2 样品采集及处理

分别在未施用马铃薯淀粉加工废水的农田和已施用马铃薯淀粉加工废水的农田选取3个点位,用取土钻采集0~30 cm的土壤样品,每个样品量不少于0.5 kg。采集后3个点位的样品混合组成一个混合样,用自封袋封装。

表1 马铃薯淀粉加工废水成分($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

Table 1 Component of potato starch processing wastewater($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

成分 Component	企业一 Enterprise I	企业二 Enterprise II	企业三 Enterprise III	企业四 Enterprise IV	企业五 Enterprise V	企业六 Enterprise VI
pH	6.72~7.43	6.13~7.47	6.82~7.36	5.82~7.23	6.27~7.41	5.93~7.12
镉	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
汞	0.000 18	$\leq 0.000\,04$	0.000 11	$\leq 0.000\,04$	$\leq 0.000\,04$	$\leq 0.000\,04$
砷	0.001 1	0.001 8	0.004 7	0.000 8	0.006 4	0.009 2
铅	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
六价铬	0.012	0.013	0.076	0.049	0.021	0.023
铜	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
锌	0.06	0.46	0.70	0.21	0.51	0.37
全氮	1 000~1 200	1 000~1 200	1 000~1 300	500~700	1 200~1 500	400~700
全磷	80~100	150~180	130~150	80~100	130~150	30~50
全钾	1 800~2 000	2 000~2 300	2 800~3 000	1 700~2 000	2 100~2 300	1 800~2 100

采集的样品置于样品盘中摊成薄层(厚约2 cm),放在室内阴凉通风处自行干燥。风干后的样品挑出植物根、叶、虫体、沙石等,用土壤样品粉碎机粉碎至全部样品通过2 mm孔径筛。将过2 mm孔径筛的土样采用四分法分样直至剩余约1 kg样品,取出其中约500 g样品继续碾磨使之全部过0.25 mm孔径筛,用于检测分析,另外约500 g样品做好标签用自封袋封存。

1.3 分析指标与测定方法

样品分析测定指标主要包括土壤环境指标:pH、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铅(Pb)、铬(Cr)、锌(Zn)、铜(Cu)、镍(Ni);土壤养分指标:有机质、全氮、水解氮、有效磷、速效钾。具体测定方法详见表2。

1.4 土壤养分综合指数和土壤环境质量指数

参考北京市土壤养分分等定级标准,选择土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾共4项指标数据(表3),计算土壤养分综合指数(I)。

$$I = \sum F_i \times W_i$$

式中: I 代表土壤养分综合指数; F_i 代表第 i 个指标的

评分值,取值见表3; W_i 代表第 i 个指标的权重,有机质权重值为0.30,全氮权重值为0.25,有效磷权重值为0.25,速效钾权重值为0.20。

根据《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ 332—2006)中综合质量指数计算方法^[19],计算农田土壤环境综合质量指数(q)。

1.5 统计分析

采用Microsoft Excel 2016对数据进行处理分析,采用SPSS 21.0软件进行配对样本 t 检验分析,显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 对耕层土壤养分的影响分析

施用和未施用(CK)马铃薯淀粉加工废水土壤各项养分统计分析结果见表4。土壤养分各项指标的配对样本 t 检验结果 P 值均小于0.05,施用马铃薯淀粉加工废水后农田土壤各项养分显著提高,这与方海军等^[20]对宁夏南部山区马铃薯淀粉加工废水农业利

表2 样品测定指标与方法
Table 2 Indicators and methods of sample measurement

项目 Items	检测指标 Indicators	检测方法 Test method	方法标准 Method Standard
土壤环境	pH	土壤pH的测定	NY/T 1377—2007
	镉	土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141—1997
	汞	土壤检测 第10部分:土壤总汞的测定	NY/T 1121.10—2006
	砷	土壤检测 第11部分:土壤总砷的测定	NY/T 1121.11—2006
	铅	土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141—1997
	铬	土壤 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法	HJ 491—2009
	锌	土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138—1997
	铜	土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17138—1997
	镍	土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17139—1997
土壤养分	有机质	土壤检测 第6部分:土壤有机质的测定	NY/T 1121.6—2006
	全氮	土壤全氮测定法(半微量开氏法)	NY/T 53—1987
	水解氮	森林土壤氮的测定	LY/T 1228—2015
	有效磷	土壤检测 第7部分:土壤有效磷的测定	NY/T 1121.7—2014
	速效钾	森林土壤钾的测定	LY/T 1234—2015

表3 北京市土壤养分指标评分规则
Table 3 Beijing soil nutrient index scoring rules

得分值 Score value	有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N/(g·kg ⁻¹)	有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)
20分	<10	<0.65	<15	<70
40分	10~15	0.65~0.80	15~30	70~100
60分	15~20	0.80~1.0	30~60	100~125
80分	20~25	1.0~1.2	60~90	125~155
100分	≥25	≥1.2	≥90	≥155

注:表中各养分含量区间得分界点包含关系为下(限)含上(限)不含。

Notes: The inclusion relationship of each nutrient content interval score is lower(limit) included, upper(limit) excluded.

用试验的研究结论一致。尤其是土壤中水解氮、有效磷和速效钾含量增幅显著,分别提高了1.84、3.15倍、7.15倍(表5),这也说明马铃薯淀粉加工废水富含大量氮、磷、钾等成分(表1),是很好的农业肥料。

参考北京市土壤养分分等定级标准,土壤养分可根据综合指数 I 分为五级,即为极低($0 \leq I < 30$)、低($30 \leq I < 50$)、中($50 \leq I < 75$)、高($75 \leq I < 95$)、极高($95 \leq I < 100$)。选择表5土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾共4项指标数据,参考北京市土壤养分分等定级标准计算方法,评价施用马铃薯淀粉加工废水相比未施用农田土壤养分变化程度,依据表5的各企业养分平均值计算,土壤养分综合指数 $I_{\text{未施用}}=53$,养分水平为中; $I_{\text{施用}}=83$,养分水平为高。

2.2 土壤pH及各项重金属含量变化

农田土壤pH及重金属含量检测数据及各项指标统计分析结果见表6,根据检测结果,施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤各项重金属含量均低于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)^[21]的风险筛选值,表明农田土壤环境质量良好。对土壤pH及镉、汞、砷、铅、镍、铜、锌、铬含量进行配对样本 t 检验分析,检验值 P 均大于0.05,表明施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的土壤pH及各项重金属含量无显著差异。

农田土壤中重金属外源途径主要有施肥、污水灌溉以及通过大气、地下水的迁移^[22-24]。而本研究中主要变化因素为是否施用马铃薯淀粉加工废水,故马铃

薯加工废水还田施用应重点监控原料马铃薯是否含有重金属成分,并关注土壤中重金属含量随施用年限的变化。

2.3 农田土壤环境质量影响分析

根据《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ 332—2006)^[19],农产品产地土壤环境质量根据土壤各单项或综合质量指数(q)可以分为三级,即清洁($q \leq 0.7$)、尚清洁($0.7 < q \leq 1.0$)、超标($q > 1.0$)。参考该标准中土壤环境质量评价方法,基于表6中土壤镉、汞、砷、铅、镍、铜、锌、铬含量数据计算各企业施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤环境综合质量指数(表7)。结果表明施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤环境质量均属于清洁等级,施用马铃薯淀粉加工废水农田土壤环境综合质量指数(q)平均值为0.418,略高于未施用马铃薯淀粉加工废水农田土壤环境综合质量指数平均值(0.405)。对各企业土壤环境综合质量指数进行配对样本 t 检验分析,结果 $P=0.46 > 0.05$,表明施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤环境综合质量指数无显著差异。此分析结果与各企业土壤矿物成分中金属含量配对样本 t 检验分析结论相互印证,表明施用马铃薯淀粉加工废水短时间内不会造成农田土壤的环境质量显著变化。

3 结论

(1)施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤中有机质、全氮、水解氮、有效磷、速效钾含量显著提高,尤其

表4 施用和未施用马铃薯淀粉加工废水的土壤养分统计结果
Table 4 Soil nutrients without/with potato starch processing wastewater

样点 Samples	有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)		全氮 Total N/(g·kg ⁻¹)		水解氮 Hydrolytic N/(mg·kg ⁻¹)		有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)		速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)	
	未施用 Without	施用 With	未施用 Without	施用 With	未施用 Without	施用 With	未施用 Without	施用 With	未施用 Without	施用 With
企业一(I)	14.4	15.8	0.91	1.14	58.6	131.0	17.6	40.7	146	459
企业二(II)	15.8	18.9	0.89	1.85	139.0	365.0	34.7	81.9	121	1 940
企业三(III)	13.9	19.2	0.97	1.56	90.4	151.5	22.8	87.0	146	1 535
企业四(IV)	15.8	19.7	1.05	1.64	50.0	200.0	6.4	52.0	118	429
企业五(V)	15.7	15.5	1.11	1.08	61.6	94.2	16.8	34.0	199	650
企业六(VI)	12.0	19.1	0.79	1.67	58.9	344.8	6.8	134.2	113	850
P 值	0.022		0.017		0.029		0.032		0.023	

表5 施用与未施用马铃薯淀粉加工废水的土壤养分均值
Table 5 Mean values of soil nutrients in farmlands with and without potato starch processing wastewater

项目 Items	有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N/(g·kg ⁻¹)	水解氮 Hydrolytic N/(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)
未施用	15.1±1.8	0.98±0.12	70.0±30.1	17.8±13.3	137±36
施用	18.3±2.0	1.51±0.28	198.7±100.8	73.8±34.7	1 116±607

表6 施用与未施用马铃薯淀粉加工废水土壤重金属含量统计结果($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 6 Analysis of soil heavy metals with and without potato starch processing wastewater($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

指标 Indicators	项目 Items	I	II	III	IV	V	VI	平均值±标准差 Mean±SD	P值 P-value
pH	施用	8.13	8.03	8.17	8.23	8.08	8.21	8.14±0.08	0.091
	未施用	7.84	7.82	7.92	8.18	8.19	8.13	8.01±0.17	
镉	施用	0.120	0.100	0.095	0.090	0.090	0.078	0.096±0.014	0.998
	未施用	0.120	0.130	0.090	0.075	0.080	0.080	0.095±0.022	
汞	施用	0.063	0.020	0.024	0.026	0.018	0.046	0.033±0.018	0.418
	未施用	0.021	0.039	0.031	0.016	0.023	0.017	0.025±0.009	
砷	施用	11.0	12.8	11.7	15.0	10.3	8.20	11.5±2.3	0.278
	未施用	11.2	12.7	11.2	15.1	6.60	7.70	10.8±3.2	
铅	施用	21.8	23.0	22.4	28.2	26.8	24.4	24.3±2.6	0.851
	未施用	20.8	23.8	23.7	27.0	30.0	22.2	24.6±3.4	
镍	施用	29	33	32	37	31	30	32.0±2.8	0.137
	未施用	24	29	30	32	33	30	29.7±3.1	
铜	施用	22	28	26	25	23	25	24.8±2.1	0.356
	未施用	30	27	25	25	26	24	26.2±2.1	
锌	施用	59.7	65.7	72.8	54.0	59.0	69.3	63.4±7.1	0.460
	未施用	71.2	67.3	74.9	37.5	41.0	66.0	59.6±16.1	
铬	施用	54	76	76	49	53	67	62.5±12.1	0.501
	未施用	64	54	88	52	51	96	67.5±19.7	

表7 施用和未施用马铃薯淀粉加工废水土壤环境
综合质量指数

Table 7 The comprehensive index of soil quality with and without
potato starch processing wastewater

样点 Samples	施用 With		未施用 Without	
	q 值 q-value	等级 Grade	q 值 q-value	等级 Grade
I	0.39	清洁	0.37	清洁
II	0.44	清洁	0.41	清洁
III	0.38	清洁	0.43	清洁
IV	0.48	清洁	0.47	清洁
V	0.41	清洁	0.42	清洁
VI	0.40	清洁	0.33	清洁
平均值±标准差	0.418±0.001		0.405±0.002	

是土壤的水解氮、有效磷和速效钾含量增幅极为显著,表明施用马铃薯淀粉加工废水可以提高农田土壤养分水平。参考北京市土壤养分分等定级标准,未施用马铃薯淀粉加工废水的土壤养分为中级水平,施用后土壤养分为高级水平。

(2)各企业施用马铃薯淀粉加工废水的农田相比未施用马铃薯淀粉加工废水的农田,土壤中镉、汞、砷、铅、铜、锌、镍、铬含量没有显著变化,且均低于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)的风险筛选值,土壤环境质量良好。施用马铃薯淀粉加工废水的农田土壤环境综合质量指数与未施用的农田土壤没有显著差异,且均属于清洁等级。

参考文献:

- [1] 王秋杰, 白乐高. 氮素化肥致使土壤酸化板结的原因及对策[J]. 河南科技, 1991(7):9, 16.
WANG Qiu-jie, BAI Le-gao. The causes and measures for nitrogen fertilizer caused soil acidification[J]. *Journal of Henan Science and Technology*, 1991(7):9, 16.
- [2] 周鑫鑫. 设施农业肥料高投入对土壤环境次生盐渍化的影响研究[D]. 上海: 东华大学, 2013:2-5.
ZHOU Xin-xin. Impact of high input of fertilizers on soil secondary salinization in protected agriculture[D]. Shanghai: Donghua University, 2013:2-5.
- [3] 张北赢, 陈天林, 王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11):182-187.
ZHANG Bei-ying, CHEN Tian-lin, WANG Bing. Effects of long-term uses of chemical fertilizers on soil quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11):182-187.
- [4] Wang A, Tang L H, Yang D W, et al. Spatio-temporal variation of net anthropogenic nitrogen inputs in the upper Yangtze River basin from 1990 to 2012[J]. *Science China Earth Sciences*, 2016, 59(11):1-13.
- [5] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I: 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7):1008-1017.
ZHANG Wei-li, WU Shu-xia, JI Hong-jie, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7):1008-1017.
- [6] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 III: 中国农业面源污染控制中存在问题分析[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7):1018-1027.

- 2004, 37(7):1026-1033.
- ZHANG Wei-li, XU Ai-guo, JI Hong-jie, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies III. Analysis of the main problems in the control of agricultural non-point source pollution in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7):1026-1033.
- [7] 陈秋会, 席运官, 王磊, 等. 太湖地区稻麦轮作农田有机和常规种植模式下氮磷径流流失特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(8):1550-1558.
- CHEN Qiu-hui, XI Yun-guan, WANG Lei, et al. Characteristics of nitrogen and phosphorus runoff losses in organic and conventional rice-wheat rotation farmland in Taihu Lake region[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(8):1550-1558.
- [8] 黄丽, 项雅玲, 袁锦方. 三峡库区农田的化肥面源污染状况研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(S2):362-367.
- HUANG Li, XIANG Ya-ling, YUAN Jin-fang. Non-point pollution from farmland of the Three Gorges Reservoir region[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(S2):362-367.
- [9] 黄铁平. 湖南农业可持续发展中的肥料问题[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(5):578-582.
- HUANG Tie-ping. Fertilizer issues of the sustainable agricultural development in Hunan Province[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2014, 35(5):578-582.
- [10] 胡诚, 曹志平, 罗艳蕊, 等. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3):47-51.
- HU Cheng, CAO Zhi-ping, LUO Yan-rui, et al. Effect of long-term application of microorganismic compost or vermicompost on soil fertility and microbial biomass carbon[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(3):47-51.
- [11] 安婷婷, 汪景宽, 李双昇, 等. 施用有机肥对黑土团聚体有机碳的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2):369-373.
- AN Ting-ting, WANG Jing-kuan, LI Shuang-yi, et al. Effects of manure application on organic carbon in aggregates of black soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(2):369-373.
- [12] 刘凌, 崔明学, 吴娜, 等. 马铃薯淀粉工业废水的环境影响与资源化利用[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(8):131-135.
- LIU Ling, CUI Ming-xue, WU Na, et al. The environmental impact and utilization of wastewater from potato starch industry[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(8):131-135.
- [13] Sklyar V, Epov A, Gladchenko M, et al. Combined biologic (anaerobic-aerobic) and chemical treatment of starch industry wastewater[J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2003, 109(1/2/3):253-262.
- [14] Li X X, Xu K, Fu W C, et al. Simultaneous in-situ excess sludge reduction and removal of organic carbon and nitrogen by a pilot-scale continuous aerobic-anaerobic coupled (CAAC) process for deeply treatment of soybean wastewater[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2014, 85(8):30-37.
- [15] 李克勋, 张振家, 张扬, 等. 厌氧好氧处理变性淀粉生产废水工程实例[J]. 工业水处理, 2003, 23(6):53-55.
- LI Ke-xun, ZHANG Zhen-jia, ZHANG Yang, et al. Engineering example of metamorphic amylose production wastewater treatment by anaerobic biological process and aerobic biological process[J]. *Industrial Water Treatment*, 2003, 23(6):53-55.
- [16] Kobayashi M, Hiz H, Senturk E, et al. Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation[J]. *Desalination*, 2006, 190(1):201-211.
- [17] Sangeetha V, Sivakumar V, Sudha A, et al. Electrochemical degradation of sago wastewater using Ti/PbO₂ electrode: Optimisation using response surface methodology[J]. *International Journal of Electrochemical Science*, 2015, 10(2):1506-1516.
- [18] Vlyssides A, Barampouti E, Mai S, et al. Hydrolysis of starch using Fenton's reagents as a key for waste integrated management in a potato processing industry[J]. *Chemical Engineering Transactions*, 2009, 18:165-170.
- [19] 国家环境保护总局. 食用农产品产地环境质量评价标准: HJ 332—2006[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- State Environmental Protection Administration. Farmland environmental quality evaluation standards for edible agricultural products: HJ 332—2006[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2006.
- [20] 方海军, 杨晓明, 刘秉义, 等. 宁夏南部山区马铃薯淀粉加工废水农业利用试验[J]. 农业科学研究, 2010, 31(1):36-43.
- FANG Hai-jun, YANG Xiao-ming, LIU Bing-yi, et al. Experiment of using the waste water from processing potato starch for agriculture in southern Ningxia[J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 31(1):36-43.
- [21] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准: GB 15618—2018[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- Ministry of Ecology and Environment, State Administration for Market Regulation. Soil environmental quality: Risk control standard for soil contamination of agricultural land: GB 15618—2018[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2018.
- [22] 董騷睿, 胡文友, 黄标, 等. 基于正定矩阵因子分析模型的城郊农田土壤重金属源解析[J]. 中国环境科学, 2015, 35(7):2103-2111.
- DONG Lu-rui, HU Wen-you, HUANG Biao, et al. Source appointment of heavy metals in suburban farmland soils based on positive matrix factorization[J]. *China Environmental Science*, 2015, 35(7):2103-2111.
- [23] 尹国庆, 江宏, 王强, 等. 安徽省典型区农用地土壤重金属污染成因及特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(1):96-104.
- YIN Guo-qing, JIANG Hong, WANG Qiang, et al. Analysis of the sources and characteristics of heavy metals in farmland soil from a typical district in Anhui Province[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(1):96-104.
- [24] 宋波, 张云霞, 庞瑞, 等. 广西西江流域农田土壤重金属含量特征及来源解析[J]. 环境科学, 2018, 39(9):4317-4326.
- SONG Bo, ZHANG Yun-xia, PANG Rui, et al. Analysis of characteristics and sources of heavy metals in farmland soils in the Xijiang River draining of Guangxi[J]. *Environmental Science*, 2018, 39(9):4317-4326.