

余高,陈芬,卜玉山,等.玉米秸秆对畜禽粪便厌氧发酵后沼渣沼液中重金属含量的影响[J].江苏农业科学,2019,47(8):265-268.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.08.061

玉米秸秆对畜禽粪便厌氧发酵后沼渣沼液中重金属含量的影响

余高¹,陈芬¹,卜玉山²,谭杰斌³

(1. 铜仁学院农林工程与规划学院,贵州铜仁 554300; 2. 山西农业大学资源环境学院,山西太谷 030801;

3. 宁乡丰裕生物科技有限公司,湖南宁乡 410600)

摘要:为了实现沼渣沼液的有效安全利用,在高温(55 ℃)条件下,研究以玉米秸秆作为调节剂对畜禽粪便(鸡粪、猪粪、牛粪)厌氧发酵后沼渣沼液中重金属含量的影响。结果表明,玉米秸秆添加量是影响畜禽粪便沼渣沼液中重金属含量的重要影响因素之一。在3种畜禽粪便与玉米秸秆的混合处理下,3种畜禽粪便沼渣中的重金属含量均表现为3:1>2:1>1:1,而沼液中的重金属含量大体上均表现为1:1>2:1>3:1的趋势,且沼渣中Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd的含量均高于沼液中的含量。相较于发酵初期,发酵末期沼肥(沼渣+沼液)中的Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd含量均有不同程度的升高。按照NY/T 798—2015《复合微生物肥料》,沼渣中的重金属含量均低于限量值,可以安全农用于农田。按照GB 5084—2005《农田灌溉水质标准》,猪粪沼液中Cu、Zn的含量超标明显,因此须要进行安全处理之后才可以施用于农田。

关键词:畜禽粪便;玉米秸秆;原料配比;厌氧发酵;沼渣;沼液;重金属

中图分类号: X71;S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)08-0265-04

随着我国规模化种植业和养殖业的迅速发展,作物秸秆和畜禽粪便等农业有机固体废弃物集中大量产生^[1],我国每年产生约7亿t秸秆和60亿t畜禽粪便,秸秆和畜禽粪便是我国生态环境的主要污染源之一^[2-4]。厌氧发酵处理可以将农业有机固体废弃物转变为新能源,而发酵后的沼渣沼液还可以作为有机肥施入农田,该处理既环保又能使资源得到有效利用^[5-7]。

然而,由于经济效益的需求,畜禽饲料中普遍含有大量的Cu、Zn、As、Cd及其他微量元素添加剂,导致畜禽粪便中含有大量的Cu、Zn、As、Cd等重金属^[8-12]。因此,当沼气工程以畜禽粪便为发酵底物时,发酵后沼渣沼液中的重金属含量如何变化,若将其施入农田,是否会对农田土壤和作物产生不良影响,这些问题都会影响沼渣和沼液的安全合理利用,但目前国内外相关的研究报道较少。

因此,本试验将玉米秸秆作为调节剂,并以3种畜禽粪便(鸡粪、猪粪、牛粪)分别与玉米秸秆固体以质量比1:1、2:1、3:1进行混合作为发酵底物,在高温(55 ℃)条件下进行厌氧发酵,研究玉米秸秆添加量对3种畜禽粪便发酵后沼

渣和沼液中重金属(Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd)含量的影响情况,并对其作为肥料进行安全性评估,以期对沼渣沼液后期处理和安全合理利用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于2014年在山西农业大学资源环境学院试验站进行。鸡粪取自山西省忻州市某养鸡场,猪粪取自山西省忻府区旭明养殖专业合作社,牛粪取自山西省忻州市肉牛养殖专业合作社,玉米秸秆取自山西农业大学资源环境学院试验站,样品风干去杂粉碎后备用;接种物取自山西省高平市农村产气良好的沼气池。鸡粪、猪粪、牛粪、玉米秸秆及接种物的主要理化性质如表1所示。

1.2 试验设计

为明确玉米秸秆添加量对畜禽粪便(鸡粪、猪粪、牛粪)厌氧发酵后沼渣和沼液中重金属含量的影响,本试验对不同配比的混合原料(鸡粪:玉米秸秆、猪粪:玉米秸秆、牛粪:玉米秸秆)进行单因素试验,测定分析发酵后沼渣沼液中的重金属含量变化。其试验水平如下:按照畜禽粪便种类及其与玉米秸秆的混合比例共设9个处理,即鸡粪、猪粪、牛粪分别与玉米秸秆按照干物质质量比为1:1、2:1、3:1进行配比;总固体质量(total solid,简称TS)分数为6%。其他发酵条件:温度为55 ℃;接种物量为30%;pH值为7。每个处理重复3次。

1.3 测定项目与方法

试验材料的固体含量测定采用(105±5)℃烘干法^[13];试验材料、沼液及沼渣中Cu、Zn、Pb、Cr、Cd的含量采用电感耦合等离子体-质谱仪进行测定,As含量采用原子荧光光度法进行测定^[14]。

收稿日期:2018-07-26

基金项目:铜仁学院博士科研启动基金(编号:trxyDH1701);铜仁市科技局自筹项目(编号:<2017>47-42);山西省回国留学人员科研资助项目(编号:2013-重点7);山西省攻关项目(编号:20130313007-3)。

作者简介:余高(1988—),男,湖南益阳人,硕士,讲师,主要从事土壤修复及有机废弃物资源化利用研究。E-mail:htywwyu1014@sina.com。

通信作者:陈芬,博士,副教授,主要从事有机废弃物资源化利用研究。E-mail:364694185@qq.com。

表 1 供试材料基本理化性质

原料	总固体质量分数 (%)	重金属含量(mg/kg)					
		Cu	Zn	As	Pb	Cr	Cd
鸡粪	87.68	89.6	332.03	1.71	6.71	35.14	0.24
猪粪	90.15	401.88	587.20	3.71	6.15	18.64	0.25
牛粪	91.91	29.83	71.58	2.85	10.88	15.82	0.29
玉米秸秆	88.34	22.73	3.79	1.52	4.50	1.32	0.21
接种物	6.00	56.81	66.44	0.02	0.85	0.78	0.06

2 结果与分析

2.1 玉米秸秆对畜禽粪便厌氧发酵后沼渣中重金属含量的影响

3 种畜禽粪便厌氧发酵后沼渣中重金属含量如表 2 所示。由表 2 可以看出,对同一种类畜禽粪便而言,玉米秸秆添加量对鸡粪、猪粪厌氧发酵后沼渣中重金属 As、Pb、Cd 的含量影响不大,鸡粪、猪粪沼渣中的重金属 As 含量范围分别为 1.154 ~ 1.182、2.024 ~ 2.196 mg/kg, Pb 含量范围分别为 5.007 ~ 5.251、4.204 ~ 4.583 mg/kg, Cd 含量范围分别为 0.185 ~ 0.195、0.181 ~ 0.197 mg/kg。玉米秸秆添加量对重金属 Cu、Zn、Cr 的含量影响较大,粪便与玉米秸秆质量比为 3 : 1 时沼渣中的 Cu、Zn、Cr 含量明显高于 1 : 1 时的含量。其中,鸡粪与玉米秸秆质量比为 3 : 1 时的 Cu、Zn、Cr 含量分别比 1 : 1 时高 28.78%、41.65%、46.72%,且差异显著($P < 0.05$);猪粪与玉米秸秆质量比为 3 : 1 时的 Cu、Zn、Cr 含量分别比 1 : 1 时高 35.59%、43.10%、41.25%,且差异显著($P < 0.05$)。同样,不同处理对牛粪沼渣中重金属 Cu、Cd 的含量影响不大,但对 Zn、As、Pb、Cr 的含量影响较大,牛粪与

玉米秸秆质量比为 3 : 1 时 Zn、As、Pb、Cr 的含量分别比 1 : 1 时高 30.45%、18.67%、17.99%、41.62%,且差异显著($P < 0.05$)。在 3 种畜禽粪便与玉米秸秆的混合处理下,3 种畜禽粪便沼渣中的重金属含量均表现为 3 : 1 > 2 : 1 > 1 : 1,这与李轶等的研究结果^[6]相似。分析其原因,主要是因为厌氧发酵过程中,玉米秸秆作为调节剂对 3 种畜禽粪便沼渣中的重金属有一定的溶出释放作用^[15],即畜禽粪便中玉米秸秆添加量越高,沼渣中的重金属溶出释放率就越高,重金属含量则越低,反之,则重金属含量越高。说明玉米秸秆添加量是影响 3 种畜禽粪便厌氧发酵后沼渣中重金属含量的重要因素之一。

由表 2 还可以看出,不同种类畜禽粪便之间,沼渣中重金属 Pb、Cd 含量差异较小,而 Cu、Zn、As、Cr 含量差异较大。其中,猪粪中的 Cu、Zn 含量最高,鸡粪中次之,牛粪中含量最低;鸡粪中 Cr 含量最高,猪粪中次之,牛粪中最低;猪粪中的 As 含量最高,牛粪中次之,鸡粪中最低。分析其原因,厌氧发酵后沼渣中的重金属含量主要与发酵底物的基本性质有关^[16]。

表 2 不同处理厌氧发酵后沼渣中重金属含量变化

处理	质量比	重金属含量(mg/kg)					
		Cu	Zn	As	Pb	Cr	Cd
鸡粪 + 玉米秸秆	1 : 1	64.737c	174.865c	1.154a	5.007a	13.224c	0.185a
鸡粪 + 玉米秸秆	2 : 1	78.361b	221.317b	1.172a	5.158a	17.494b	0.193a
鸡粪 + 玉米秸秆	3 : 1	83.363a	247.704a	1.182a	5.251a	19.402a	0.195a
猪粪 + 玉米秸秆	1 : 1	219.041c	300.421c	2.024a	4.204a	8.067b	0.181a
猪粪 + 玉米秸秆	2 : 1	273.945b	381.396b	2.132a	4.372a	10.289a	0.193a
猪粪 + 玉米秸秆	3 : 1	297.004a	429.895a	2.196a	4.583a	11.395a	0.197a
牛粪 + 玉米秸秆	1 : 1	41.878a	57.422c	1.538b	5.785b	6.997b	0.208a
牛粪 + 玉米秸秆	2 : 1	42.694a	68.645b	1.693ab	6.474ab	8.894a	0.224a
牛粪 + 玉米秸秆	3 : 1	44.505a	74.909a	1.825a	6.826a	9.909a	0.226a

注:同列数据后不同字母表示同一种类畜禽粪便与玉米秸秆不同配比之间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

2.2 玉米秸秆对畜禽粪便厌氧发酵后沼液中重金属含量的影响

由表 3 可以看出,对同一种类畜禽粪便而言,玉米秸秆添加量对鸡粪中重金属 As、Cd 含量的影响不大,As 和 Cd 含量的范围分别为 0.063 ~ 0.065、0.003 ~ 0.004 mg/kg;但对重金属 Cu、Zn、Pb、Cr 含量的影响较大,鸡粪与玉米秸秆的混合质量比为 1 : 1 时的 Cu、Zn、Cr 含量分别比 3 : 1 时高 88.52%、101.26%、32.35%、66.67%。玉米秸秆添加量对猪粪中重金属 Cu、Zn、As 含量的影响不大,但对 Pb、Cr、Cd 含量的影响较大,猪粪与玉米秸秆质量比为 1 : 1 时的 Pb、Cd 含量比 3 : 1 时分别高 85.29%、57.14%,猪粪与玉米秸秆质量比为 2 : 1

时的 Cr 含量比 3 : 1 时高 13.33%。玉米秸秆添加量对牛粪中重金属 As、Pb、Cd 含量的影响不大,但对重金属 Cu、Zn、Cr 含量的影响较大,牛粪与玉米秸秆质量比为 1 : 1 时的 Cu、Zn、Cr 含量分别比 3 : 1 时高 52.26%、101.57%、46.67%。3 种畜禽粪便与玉米秸秆混合处理下,除鸡粪中的 Cd、猪粪中的 Cu 和牛粪中的 Pb、Cd 外,3 种畜禽粪便沼液中的重金属含量均表现为 1 : 1 > 2 : 1 > 3 : 1。分析其原因,主要是因为玉米秸秆对沼渣中的重金属有一定的溶出释放作用,玉米秸秆含量越高,有机物分子降解率越高,沼渣中的重金属溶出释放率越高^[15],沼液中的重金属含量就越高,反之,重金属含量越低。说明玉米秸秆添加量是影响 3 种畜禽粪便厌氧发酵后沼

液中重金属含量的重要因素之一。

由表 3 还可以看出,对不同种类的畜禽粪便而言,猪粪中的 Cu、Zn、As、Cd 含量均为最高,而鸡粪中的 Pb、Cr 含量均为

最高。分析其原因,主要是由于不同畜禽使用的饲料添加剂种类和用量不同所致^[17]。

表 3 不同处理厌氧发酵后沼液中重金属含量变化

处理	质量比	重金属含量(mg/kg)					
		Cu	Zn	As	Pb	Cr	Cd
鸡粪+玉米秸秆	1:1	0.624a	1.435a	0.065a	0.090a	0.045a	0.003a
鸡粪+玉米秸秆	2:1	0.593a	0.903b	0.064a	0.076b	0.039a	0.004a
鸡粪+玉米秸秆	3:1	0.331b	0.713c	0.063a	0.068b	0.027b	0.003a
猪粪+玉米秸秆	1:1	1.842a	2.773a	0.111a	0.063a	0.013b	0.011a
猪粪+玉米秸秆	2:1	1.638a	2.660a	0.105a	0.045b	0.017a	0.008b
猪粪+玉米秸秆	3:1	1.713a	2.633a	0.092a	0.034c	0.015ab	0.007b
牛粪+玉米秸秆	1:1	0.976a	0.772a	0.074a	0.070a	0.022a	0.005a
牛粪+玉米秸秆	2:1	0.739b	0.633b	0.071a	0.059a	0.018b	0.004a
牛粪+玉米秸秆	3:1	0.641c	0.383c	0.064a	0.065a	0.015c	0.005a

注:表中沼液的原始单位为 mg/L,其密度为 1.1 g/mL,经换算后沼液的单位为 mg/kg。

结合表 2 和表 3 可知,不同配比条件下,沼渣中重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 的含量均大于沼液中的含量;其中,针对鸡粪而言,沼渣中重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 的含量分别为沼液中的 104~252、121~347、18~19、56~77、294~719、48~65 倍;针对猪粪而言,沼渣中重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 的含量分别为沼液的 118~172、107~162、17~23、66~133、620~759、15~27 倍;针对牛粪而言,沼渣中重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 的含量分别为沼液中的 42~68、73~195、20~28、82~110、317~660、41~55 倍。这与李轶等的研究结果^[6]相似。分析其原因,主要是因为厌氧发酵过程中,重金属大多以非水溶态存在于沼渣中,而只有极少的一部分以水溶态存在于沼液中^[18]。

2.3 玉米秸秆对畜禽粪便厌氧发酵始末重金属含量的影响

随着厌氧发酵的进行,发酵底物中的干物质含量大大降

低,致使重金属出现富集现象^[5],进而导致发酵末期沼肥(沼渣+沼液)中重金属含量的升高。由表 4 可知,与发酵前相比,发酵末期,3 种畜禽粪便沼肥中的重金属含量均有不同程度的升高,整体而言,重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 含量的升高幅度分别为 15.97%~33.34%、25.66%~33.70%、3.06%~10.78%、2.01%~21.97%、2.72%~13.151%、6.82%~12.87%。对于不同种类的畜禽粪便,3 种畜禽粪便沼肥中重金属含量均以 Cu、Zn 含量升高幅度较大;其中,鸡粪中 Cu、Zn 含量的升高幅度分别为 15.97%~22.97%、25.92%~28.24%;猪粪中 Cu、Zn 含量的升高幅度分别为 28.75%~33.34%、30.26%~33.70%;牛粪中 Cu、Zn 含量的升高幅度分别为 19.76%~23.07%、25.66%~29.42%。对于同一种畜禽粪便,不同配比之间厌氧发酵前后沼肥中重金属含量升高幅度差异不明显,说明玉米秸秆添加量对 3 种畜禽粪便厌

表 4 不同处理发酵始末沼肥重金属含量的变化

处理	质量比	发酵时期	重金属含量(mg/kg)					
			Cu	Zn	As	Pb	Cr	Cd
鸡粪+玉米秸秆	1:1	发酵前	56.359	137.469	1.137	4.179	12.995	0.176
		发酵后	65.361	176.300	1.219	5.097	13.269	0.188
鸡粪+玉米秸秆	2:1	发酵前	64.160	175.764	1.159	4.436	16.941	0.179
		发酵后	78.361	221.317	1.236	5.158	17.494	0.193
鸡粪+玉米秸秆	3:1	发酵前	68.061	194.911	1.170	4.565	18.914	0.181
		发酵后	83.694	248.417	1.245	5.319	19.429	0.198
猪粪+玉米秸秆	1:1	发酵前	165.657	226.779	1.837	3.983	7.220	0.179
		发酵后	220.883	303.194	2.035	4.267	8.080	0.192
猪粪+玉米秸秆	2:1	发酵前	209.891	294.843	2.092	4.175	9.241	0.184
		发酵后	275.583	384.056	2.237	4.417	10.306	0.201
猪粪+玉米秸秆	3:1	发酵前	232.008	328.875	2.220	4.271	10.251	0.186
		发酵后	298.717	432.528	2.288	4.617	11.410	0.204
牛粪+玉米秸秆	1:1	发酵前	35.439	46.312	1.536	5.638	6.233	0.193
		发酵后	42.854	58.194	1.612	5.855	7.019	0.213
牛粪+玉米秸秆	2:1	发酵前	36.267	54.220	1.691	6.382	7.925	0.202
		发酵后	43.433	69.278	1.764	6.533	8.912	0.228
牛粪+玉米秸秆	3:1	发酵前	36.682	58.175	1.768	6.755	8.771	0.207
		发酵后	45.146	75.292	1.889	6.891	9.924	0.231

注:发酵前原料中的重金属含量为畜禽粪便(鸡粪、猪粪、牛粪)、玉米秸秆与接种物中之和;发酵后重金属含量为沼渣与沼液中之和,其中沼液经换算得到单位为 mg/kg。

氧发酵前后沼液中重金属含量升高幅度影响较小。

2.4 畜禽粪便厌氧发酵后沼肥的安全利用

按照 NY/T 798—2015《复合微生物肥料》^[19], Cr、As、Pb、Cd 的限量值分别为 150、75、100、10 mg/kg;但其并未对 Cu、Zn 进行限量,因此参考国内外关于有机肥料中重金属的限量标准^[20], Cu、Zn 的限量值分别为 300、1 000 mg/kg,3 种畜禽粪便厌氧发酵后沼渣中的重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 含量(表 2)均未超标,可以安全农用。按照 GB 5084—2005《农田灌溉水质标准》^[21], Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 的限量值分别为 0.91、1.82、0.09、0.18、0.09、0.01 mg/kg,猪粪厌氧发酵后沼液中 Cu、Zn 含量超标最明显,其超标率分别为 80.00% ~ 102.42%、44.67% ~ 52.36%,猪粪与玉米秸秆质量比为 1:1 时的 Cd 超标率为 10%,其余 3 种元素均未超标;鸡粪和牛粪中的 6 种元素均未超标。因此,猪粪沼液须要进行处理后才能施用于农田。

3 结论

(1)玉米秸秆作为调节剂对 3 种畜禽粪便厌氧发酵后沼渣沼液中的重金属含量均有一定的影响。整体而言,在 3 种畜禽粪便与玉米秸秆混合处理下,3 种畜禽粪便沼渣中的重金属含量均表现为 3:1>2:1>1:1,而沼液中的重金属含量大体上均表现为 1:1>2:1>3:1。

(2)厌氧发酵后,3 种畜禽粪便沼渣中的重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 的含量均大于沼液中的含量。

(3)相较于发酵初期,发酵末期 3 种畜禽粪便沼肥(沼渣+沼液)中的重金属 Cu、Zn、As、Pb、Cr、Cd 含量均有不同程度的升高;且针对同一种类的畜禽粪便而言,不同配比之间厌氧发酵前后重金属含量升高幅度差异不明显。

(4)3 种畜禽粪便厌氧发酵后沼渣中的重金属含量均低于我国复合微生物肥料产品无害化指标的农业行业标准(NY/T 798—2015)及国内外关于有机肥料中重金属的限量标准,可以安全农用。按照我国农田灌溉水质的国家标准(GB 5084—2005),猪粪厌氧发酵后沼液中的 Cu、Zn 含量超标明显,须要进行安全处理之后才可以施用于农田。

参考文献:

- [1]陈 芬,余 高,武春燕,等. 外源 Cu、Zn 对猪粪与玉米秸秆混合物料产甲烷特性影响机理分析[J]. 环境科学学报,2016,36(12):4428-4436.
- [2]陈小华,朱洪光. 农作物秸秆产沼气研究进展与展望[J]. 农业工程学报,2007,23(3):279-283.
- [3]袁振宏,吴创之,马隆龙. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2008.
- [4]王晓明,唐 兰,赵黛青,等. 中国生物质资源潜在可利用量评估

- [J]. 三峡环境与生态,2010,32(5):38-42,62.
- [5]刘研萍,文 雪,张继方,等. 秸秆沼渣中重金属的安全风险分析[J]. 中国沼气,2014,32(1):90-94.
- [6]李 轶,杨鹤然,杨晓桐,等. pH 值和原料配比对猪粪和玉米秸秆混合厌氧发酵后沼渣沼液中重金属含量的影响[J]. 中国沼气,2015,33(3):45-50.
- [7]赵 华,蔺海明,李 霞,等. 张掖市农作物秸秆资源静脉产业链构建[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2015,51(2):255-259.
- [8]王 辉,董元华,张绪美,等. 江苏省集约化养殖畜禽粪便盐分含量及分布特征分析[J]. 农业工程学报,2007,23(11):229-233.
- [9]Zakir S, Shang Z J, Xu Y L, et al. Assessment of heavy metals in grain fields with long-term treatment of agrochemicals and organic manure in Hailun City of Northeast China[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 18(2):30-35.
- [10]Zhang F S, Li Y X, Yang M, et al. Copper residue in animal manures and the potential pollution risk in Northeast China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2011, 2(1):91-96.
- [11]Wang H, Dong Y H, Yang Y Y, et al. Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2013, 25(12):2435-2442.
- [12]庞 妍,唐希望,吉普辉,等. 关中原畜禽粪便重金属农用风险估算[J]. 中国环境科学,2015,35(12):3824-3832.
- [13]贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京:中国轻工业出版社,1998.
- [14]陈 芬. 三种畜禽粪便与玉米秸秆混合及 Cu、Zn 含量对其产甲烷特性的影响[D]. 晋中:山西农业大学,2015.
- [15]卜贵军,于 静,邸慧慧,等. 鸡粪堆肥有机物演化对重金属生物有效性影响研究[J]. 环境科学,2014,35(11):4352-4358.
- [16]Chen F, Yu G, Li W, et al. Maximal methane potential of different animal manures collected in northwest region of China[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(1):202-208.
- [17]李书田,刘荣乐,陕 红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J]. 农业环境科学学报,2009,28(1):179-184.
- [18]王 美,李书田. 肥料重金属含量状况及施肥对土壤和作物重金属富集的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(2):466-480.
- [19]中华人民共和国农业部. 复合微生物肥料:NY/T 798—2015[S]. 北京:中国农业出版社,2015.
- [20]李书田,刘荣乐. 国内外关于有机肥料中重金属安全限量标准的现状与分析[J]. 农业环境科学学报,2006,25(增刊1):777-782.
- [21]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 农田灌溉水质标准:GB 5084—2005[S]. 北京:中国标准出版社,2005.