

◆提质增效产品创制技术◆

含硝酸钾大量元素水溶肥（粉末状）氧化性分类研究

林晓庆¹, 孙怀波¹, 马彦平¹, 董学胜², 张益帅³, 黄高强⁴

(1. 上海化工研究院有限公司, 上海 200062; 2. 上海化工院检测有限公司, 上海 200062;
3. 天脊集团钾盐有限公司, 山西 长治 047507; 4. 康朴新肥科技(深圳)有限公司, 深圳 518000)

[摘要] 为研究含硝酸钾大量元素水溶肥（粉末状）氧化性分类的影响因素，选取农业用硝酸钾和另一种原料混配成为符合标准要求的大量元素水溶肥用于探究不同硝酸钾含量和不同原料对成品氧化性分类的影响，得出基本规律后在多个实际大量元素水溶肥产品上进行验证。结果表明：不同原料对硝酸钾氧化性的抑制能力不同，表现出的规律为磷酸一铵>尿素>硫酸铵>磷酸二氢钾>硫酸钾，含硝酸钾大量元素水溶肥（粉末状）的氧化性分类取决于硝酸钾含量和另一种或几种原料对硝酸钾氧化性的抑制能力。相关企业实际生产时通过降低硝酸钾含量或选取对硝酸钾氧化性抑制能力强的原料，是降低含硝酸钾大量元素水溶肥（粉末状）的氧化危险性、助力运输安全的重要突破口。

[关键词] 硝酸钾；大量元素水溶肥；氧化性分类；运输安全

[中图分类号] TQ443.9 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 01-0053-05

Research on oxidation classification of potassium nitrate-containing macro-element water-soluble fertilizer (powder)

LIN Xiaoqing¹, SUN Huaibo¹, MA Yanping¹, DONG Xuesheng², ZHANG Yishuai³, HUANG Gaoqiang⁴

(1. Shanghai Research Institute of Chemical Industry Co., Ltd., Shanghai 200062, China; 2. Shanghai Institute of Chemical Industry Testing Co., Ltd., Shanghai 200062, China; 3. Tianji Group Potassium Salt Co., Ltd., Changzhi 047507, China; 4. COMPO EXPERT Technology (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: In order to study the influence factor of oxidation classification of potassium nitrate-containing macro-element water-soluble fertilizer (powder), by using agricultural potassium nitrate and another raw material as raw materials to produce macro-element water-soluble fertilizers that meet the requirements of standard, the influence of different potassium nitrate content and different raw materials on the oxidation classification of the mixture samples is studied. The basic rule is obtained, and then it is verified on a number of actual macro-element water-soluble fertilizers. The results show that different raw materials has different inhibition ability on oxidation of potassium nitrate, the rules is monoammonium phosphate > urea > ammonium sulfate > potassium dihydrogen phosphate > potassium sulfate. Therefore, the oxidation classification of potassium nitrate-containing macro-element water-soluble fertilizer (powder) depends on the potassium nitrate content and the inhibition ability of another or several raw materials on the oxidation of potassium nitrate. Related enterprises should reduce the content of potassium nitrate and select raw materials with strong inhibition on potassium nitrate oxidation in actual production, which is an important breakthrough to reduce the oxidation risk of potassium nitrate-containing macro-element water-soluble fertilizer (powder) and help transportation safety.

Key words: potassium nitrate; macro-element water-soluble fertilizer; oxidation classification; transportation safety

0 引言

随着水肥一体化技术的快速发展^[1]，以及大量元素水溶肥料产品管理由登记改为备案，大量元素水溶肥产业近年来呈现出蓬勃发展的态势^[2]。目前大量元素水溶肥生产上常用到的氮源主要有尿素、

硫酸铵，磷源主要有工业级磷酸一铵以及磷酸二氢

[收稿日期] 2024-10-14

[作者简介] 林晓庆(1996-),女,河南信阳人,工程师,主要研究方向为化学品危险性分类及运输安全。

[基金项目] “十四五”国家重点研发计划(2023YFD1700205)

钾,钾源主要有硝酸钾、磷酸二氢钾、硫酸钾等。大量元素水溶肥固体产品^[3]的大量元素含量须满足 $w(N + P_2O_5 + K_2O) \geq 50.0\%$,农业用硝酸钾产品^[4] $w(K_2O) > 44.0\%$ 、 $w(N) > 13.0\%$,加上不含氯、水溶性好、养分易被农作物吸收、几乎适用于任何农作物的优势,硝酸钾成为大量元素水溶肥首选的优质原料之一^[5-6]。

硝酸钾属于明确被列入《危险化学品目录》(2015年版)和公安部《易制爆危险化学品名录》(2017年版)中的危险品,同时《关于危险货物运输的建议书 规章范本》^[7]和JT/T 617《危险货物道路运输规则》^[8]等也将其列为危险货物—5.1项氧化性固体(联合国编号UN1486,包装类别Ⅲ),以硝酸钾为原料生产而成的大量元素水溶肥也需考虑5.1项氧化性。当前固体形态大量元素水溶肥大多呈粉末形式,产品的氧化性风险较颗粒状进一步增强^[9-10]。目前对农业用硝酸钾的危险性认识不足^[11],随着安全监管加强,近年来有不少企业的含硝酸钾大量元素水溶肥产品在运输抽检中,以普通货物运输,但实测属于5.1项氧化性固体,存在较高的安全风险。行业企业迫切希望能够从科研角度为企业的产品生产提供配方技术支持,助力运输安全,同时降低运输成本。现阶段仅有少量关于硝酸钾含量影响硝酸钾类肥料产品氧化性的研究^[12],未考虑到其他肥料原料对产品氧化性的影响,且关于含硝酸钾大量元素水溶肥的氧化性分类及运输安全影响因素的研究,此前的相关文献资料也见有报道。

基于此,笔者以农业用硝酸钾和另一种常见肥料原料混配成符合大量元素水溶肥料标准(NY/T 1107—2020)的成品,即尿素-硝酸钾组、磷酸一铵-硝酸钾组、硫酸铵-硝酸钾组、磷酸二氢钾-硝酸钾组、硫酸钾-硝酸钾组,以混配样品为基础探究不同肥料原料和不同硝酸钾含量对混配样品氧化性分类的影响,得出基本规律;并选取供试企业提供的各种配方的大量元素水溶肥样品开展氧化性测试,验证得到的规律,进而推及含硝酸钾大量元素水溶肥(粉末状)氧化性分类及其运输安全的影响因素,为行业企业的生产配方,运输公司的安全运输,相关部门对产品的运输、经营、监督管理等提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

混配样品:选取农业用硝酸钾和另一种原料组

成尿素-硝酸钾组、磷酸一铵-硝酸钾组、硫酸铵-硝酸钾组、磷酸二氢钾-硝酸钾组、硫酸钾-硝酸钾组,其中硫酸铵-硝酸钾组虽不满足大量元素标准,为研究硫酸铵原料对产品氧化性的影响,也开展了系列试验。尿素-硝酸钾组设置了30%、35%、40%、45%尿素4个配比,磷酸一铵-硝酸钾组设置了20%、25%、30%、35%、40%、45%磷酸一铵6个配比,硫酸铵-硝酸钾组设置了30%、35%、40%、45%、55%硫酸铵5个配比,磷酸二氢钾-硝酸钾组设置了35%、40%、45%、50%磷酸二氢钾4个配比,硫酸钾-硝酸钾组设置了35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%硫酸钾10个配比。成品大量元素水溶肥:两家供试企业提供12种不同配方的含硝酸钾大量元素水溶肥产品(文章研究的试验样品与肥料产品均为粉末状,下文不再特别指出)。

1.2 氧化性试验

根据《试验和标准手册》^[13]中氧化性固体试验方法(O.1),将参考混合物或待测混合物按表1准备(30.0 ± 0.1)g,使用锥形玻璃漏斗将混合物堆成底部直径为70mm的截头圆锥堆堆覆盖于成型点火金属线上,对参考混合物和待测混合物进行5次连续有效测试。

表1 参考混合物与待测混合物

Table 1 Reference mixture and test mixture

项目	组分	质量比
包装类别Ⅰ参考混合物(O.1)	溴酸钾与纤维素	3:2
包装类别Ⅱ参考混合物(O.1)	溴酸钾与纤维素	2:3
包装类别Ⅲ参考混合物(O.1)	溴酸钾与纤维素	3:7
待测混合物1	样品与纤维素	1:1
待测混合物2	样品与纤维素	4:1

2 结果与分析

2.1 混配样品的氧化性试验结果

混配样品:尿素-硝酸钾组、磷酸一铵-硝酸钾组、硫酸铵-硝酸钾组、磷酸二氢钾-硝酸钾组、硫酸钾-硝酸钾组。参考混合物的平均燃烧时间见表2,待测混合物与纤维素质量比为4:1和1:1时的平均燃烧时间如表3所示,其中含有磷酸一铵的样品

表2 参考混合物的平均燃烧时间

Table 2 The average burning time of reference mixture

包装类别	平均燃烧时间/s
包装类别Ⅰ参考混合物	6
包装类别Ⅱ参考混合物	56
包装类别Ⅲ参考混合物	109

在与纤维素质量比为4:1时一直出现金属丝熔断的情况,故仅列出了与纤维素质量比1:1的试验结果。

表3 混配样品的平均燃烧时间

Table 3 The average burning time of mixed samples

样品	平均燃烧时间/s	
	m(样品):m(纤维素)=4:1	m(样品):m(纤维素)=1:1
30%尿素-70%硝酸钾	91.2	>180.0
35%尿素-65%硝酸钾	150.4	>180.0
40%尿素-60%硝酸钾	>180.0	>180.0
45%尿素-55%硝酸钾	>180.0	>180.0
20%磷酸一铵-80%硝酸钾		72.7
25%磷酸一铵-75%硝酸钾		106.8
30%磷酸一铵-70%硝酸钾		>180.0
35%磷酸一铵-65%硝酸钾		>180.0
40%磷酸一铵-60%硝酸钾		>180.0
45%磷酸一铵-55%硝酸钾		>180.0
30%硫酸铵-70%硝酸钾	90.4	139.0
35%硫酸铵-65%硝酸钾	101.4	149.0
40%硫酸铵-60%硝酸钾	112.6	>180.0
45%硫酸铵-55%硝酸钾	>180.0	>180.0
55%硫酸铵-45%硝酸钾	>180.0	>180.0
35%磷酸二氢钾-65%硝酸钾	101.8	120.6
40%磷酸二氢钾-60%硝酸钾	106.4	141.6
45%磷酸二氢钾-55%硝酸钾	116.4	152.2
50%磷酸二氢钾-50%硝酸钾	169.2	>180.0
35%硫酸钾-65%硝酸钾	63.2	106.8
40%硫酸钾-60%硝酸钾	64.8	134.2
45%硫酸钾-55%硝酸钾	69.2	160.0
50%硫酸钾-50%硝酸钾	73.0	170.3
55%硫酸钾-45%硝酸钾	85.6	175.3
60%硫酸钾-40%硝酸钾	75.8	>180.0
65%硫酸钾-35%硝酸钾	83.0	>180.0
70%硫酸钾-30%硝酸钾	76.8	>180.0
75%硫酸钾-25%硝酸钾	92.6	>180.0
80%硫酸钾-20%硝酸钾	123.8	>180.0

2.2 混配样品的氧化性分类

根据《关于危险货物运输的建议书 规章范本》^[8],试样与纤维素质量比为4:1和1:1进行试验,任一质量比的平均燃烧时间达到5.1项分类标准,即分类为5.1项氧化性固体;综合表2、表3的试验结果,混配样品的氧化性分类结果见表4,其中M代指尿素、磷酸一铵、硫酸铵、磷酸二氢钾、硫酸钾5种肥料原料,空白项表示此配方未开展试验。

从表4可以看出,对于相同原料、不同含量硝酸钾组成的配方,样品的氧化性随硝酸钾含量的增加而增强。对于硝酸钾含量相同、另一肥料原料不同的混配样品,氧化性测试结果也有所不同,例如40%M-60%硝酸钾这一配比,硝酸钾含量均为60%,当另一原料为尿素、磷酸一铵、硫酸铵时,氧化性测试结果均为非5.1项氧化性物质,而另一原料为磷酸二氢钾或硫酸钾时,氧化性测试结果均为5.1项氧化性物质,包装类别Ⅲ;另外,此配比下,磷酸二氢钾和硫酸钾配方的氧化性强弱有明显差距,磷酸二氢钾配方样品与纤维素质量比为4:1时的平均燃烧时间为106.4 s,硫酸钾配方样品与纤维素质量比为4:1时的平均燃烧时间为64.8 s(见表3),这表明硫酸钾对硝酸钾氧化性的抑制能力远远弱于磷酸二氢钾。

综合表4混配样品的氧化性分类情况,不同肥料原料对硝酸钾氧化性的抑制能力强弱不同,基本规律表现为:磷酸一铵>尿素>硫酸铵>磷酸二氢钾>硫酸钾,如硝酸钾质量占比为25%及以上时硝酸钾与硫酸钾混配的成分测试结果为5.1项氧化性物质,而硝酸钾质量占比70%及以下时硝酸钾与磷

表4 混配样品的氧化性分类结果

Table 4 Oxidation classification result of mixed samples

混配样品	磷酸一铵	尿素	硫酸铵	磷酸二氢钾	硫酸钾
20%M-80%硝酸钾	包装类别Ⅲ				
25%M-75%硝酸钾	包装类别Ⅲ				
30%M-70%硝酸钾	非5.1项	包装类别Ⅲ	包装类别Ⅲ		
35%M-65%硝酸钾	非5.1项	非5.1项	包装类别Ⅲ	包装类别Ⅲ	包装类别Ⅲ
40%M-60%硝酸钾	非5.1项	非5.1项	非5.1项	包装类别Ⅲ	包装类别Ⅲ
45%M-55%硝酸钾	非5.1项	非5.1项	非5.1项	非5.1项	包装类别Ⅲ
50%M-50%硝酸钾			非5.1项	非5.1项	包装类别Ⅲ
55%M-45%硝酸钾					包装类别Ⅲ
60%M-40%硝酸钾					包装类别Ⅲ
65%M-35%硝酸钾					包装类别Ⅲ
70%M-30%硝酸钾					包装类别Ⅲ
75%M-25%硝酸钾					包装类别Ⅲ
80%M-20%硝酸钾					非5.1项

酸一铵混配的成品为非5.1项氧化性物质。分析原因,磷酸一铵一般可用作阻燃剂,其阻燃效果好,对应的氧化性抑制能力也最强;据相关文献报道,碱金属盐,特别是钾盐对燃烧催化效果较好^[14],这也解释了硫酸钾对硝酸钾氧化性抑制能力最弱的原因;而磷酸二氢钾同时具有磷酸盐的阻燃特性和钾盐的燃烧催化性能,两者相互作用,其对氧化剂的抑制作用处于中间水平,高于硫酸钾,但低于磷酸一铵、尿素等。

2.3 含硝酸钾大量元素水溶肥的氧化性分类及运输安全

表5列出了两家供试企业(以公司1、公司2代称)提供的12款含硝酸钾大量元素水溶肥的氧化性分类结果,进一步验证了上述基本规律;如硝酸钾和高含量硫酸钾配比产品(表5中的大量元素水溶肥5-0-50),硝酸钾质量占比30%即属于5.1项氧化性物质,而硝酸钾和高含量磷酸一铵、尿素配比产品(表5中的样品3和样品4),硝酸钾质量占比高达55%,仍不属于5.1项氧化性物质。对于含硝酸钾大量元素水溶肥,其氧化性分类应综合考虑硝酸钾含量和其他配比原料对硝酸钾氧化性的抑

制能力。这也意味着企业可基于各原料对硝酸钾氧化性的抑制能力,自行选取不同配比,并结合氧化性试验实测结果,及时调整配方。实际生产时,可通过降低硝酸钾含量,与选取对硝酸钾氧化性抑制能力强的原料配方,来降低产品的氧化性,助力运输安全。磷酸一铵和磷酸二氢钾养分含量高,能满足大量元素水溶肥的高养分要求,且磷源中磷酸一铵对硝酸钾氧化性的抑制能力最强,钾源中磷酸二氢钾对硝酸钾氧化性的抑制能力较强,建议可优先分别选作磷源和钾源。

另外,高磷含量肥料或氮磷钾比例相同(如表5中的大量元素水溶肥20-20-20)的肥料产品,一般硝酸钾含量相对较低,且可通过增加磷酸一铵含量来抑制产品整体的氧化性;而高钾含量肥料,特别是氮钾二元肥(如表5中的大量元素水溶肥5-0-50、大量元素水溶肥6-0-48),一般硝酸钾含量较高,或硝酸钾与较高含量硫酸钾配比,产品具有氧化危险性的可能性偏高,建议相关企业和有关监管部门特别注意此类产品,对于氧化性测试结果呈阳性的产品,应在备案、标签、运输、储存等环节加大管理力度。

表5 企业提供的含硝酸钾大量元素水溶肥的氧化性分类结果

Table 5 Oxidation classification of potassium nitrate-containing macro-element water-soluble fertilizers provided by enterprises

样品名称	配方	氧化性分类(包装类别)	送检公司
样品1	硝酸钾45%,尿素21.5%,磷酸一铵33.5%	非5.1项	公司1
样品2	硝酸钾50%,尿素16.5%,磷酸一铵33.5%	非5.1项	公司1
样品3	硝酸钾55%,尿素11.5%,磷酸一铵33.5%	非5.1项	公司1
样品4	硝酸钾55%,尿素21.5%,磷酸一铵23.5%	非5.1项	公司1
大量元素水溶肥6-0-48	硝酸钾62%,硫酸钾34%,尿素3%	包装类别Ⅲ	公司2
大量元素水溶肥19-19-19	硝酸钾38.5%,磷酸二氢钾4.5%,磷酸一铵27.5%,尿素24.5%,无水硫酸镁5%	非5.1项	公司2
大量元素水溶肥5-0-50	硝酸钾30%,硫酸钾53%,氯化钾15%,尿素2%	包装类别Ⅲ	公司2
大量元素水溶肥11-0-42	硝酸钾30%,硫酸钾37%,氯化钾15%,尿素16%,硫酸镁2%	非5.1项	公司2
大量元素水溶肥12-0-45	硝酸钾28%,硫酸钾60%,尿素12%	非5.1项	公司2
大量元素水溶肥11-5-40	硝酸钾27%,硫酸钾47%,磷酸二氢钾10%,尿素16%	非5.1项	公司2
大量元素水溶肥11-6-38	硝酸钾27%,硫酸钾42%,磷酸二氢钾12%,尿素16%,硫酸镁3%	非5.1项	公司2
大量元素水溶肥20-20-20	硝酸钾25%,磷酸二氢钾26%,磷酸一铵11%,尿素34%,硫酸镁4%	非5.1项	公司2

3 结论

目前行业普遍认为含硝酸钾大量元素水溶肥(粉末状)产品的氧化性与硝酸钾含量相关,未考虑到其他肥料原料对产品氧化性的影响。笔者探究并发现不同原料对硝酸钾氧化性的抑制能力不同,基本规律表现为:磷酸一铵>尿素>硫酸铵>磷酸二氢钾>硫酸钾,如硝酸钾占比25%及以上时硝酸钾与硫酸钾混配的大量元素水溶肥成品测试结果为

5.1项氧化性物质,而硝酸钾占比70%及以下时硝酸钾与磷酸一铵混配的大量元素水溶肥成品测试结果为非5.1项氧化性物质。含硝酸钾大量元素水溶肥的氧化性分类,应同时考虑硝酸钾含量和其他配比原料对硝酸钾氧化性的抑制能力。

相关企业可根据各原料的氧化性抑制能力,自行调整配方;实际生产时可降低硝酸钾含量与选取对硝酸钾氧化性抑制能力强的原料,是降低产品的

氧化危险性、助力运输安全的重要突破口。如磷酸一铵和磷酸二氢钾养分含量高,能满足大量元素水溶肥的高养分要求,且磷源中磷酸一铵对硝酸钾氧化性抑制能力最强,钾源中磷酸二氢钾对硝酸钾氧化性抑制能力较强,建议可分别优先作磷源和钾源。此外,高磷含量肥料或氮磷钾比例相同的产品,一般硝酸钾含量相对较低,且可通过增加磷酸一铵含量来抑制产品整体的氧化性;而高钾肥产品,特别是氮钾二元肥,一般硝酸钾含量较高,或硝酸钾与较高含量硫酸钾配比,产品具有氧化危险性的可能性偏高,建议相关企业和有关监管部门特别注意此类产品,对于氧化性测试结果属5.1项氧化性物质的产品,应在备案、标签、运输、储存等环节加大管理力度。

试验结果是以硝酸钾和另一原料两种基础肥料混配样品为研究基础,含硝酸钾大量元素水溶肥的实际产品,基本上是多种基础肥料混合,影响因素多样,暂未研究多种基础肥料对硝酸钾氧化性的协同影响作用,这也是下一步的研究方向。

[参考文献]

- [1] 曲均峰.我国水溶肥专利申请现状及分析[J].磷肥与复肥, 2022,37(2):13-15.
QU J F. Application status and analysis of water soluble fertilizer patents in China[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(2):13-15.
- [2] 沈欣,辛景树,李燕婷,等.水溶肥料产品登记现状[J].中国土壤与肥料,2021(2):296-301.
SHEN X, XIN J S, LI Y T, et al. Registration status of water-soluble fertilizer products[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021(2):296-301.
- [3] 中华人民共和国农业农村部.大量元素水溶肥料:NY/T 1107—2020[S].北京:中国农业出版社,2020.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Water-soluble macronutrient fertilizers: NY/T 1107—2020[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.
- [4] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.农业用硝酸钾:GB/T 20784—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
State Administration for Market Regulation, National Standardization Administration of the People's Republic of China. Potassium nitrate for agricultural use: GB/T 20784—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [5] 张小娟.农用硝酸钾发展现状及市场前景[J].磷肥与复肥, 2020,35(6):50-52.
ZHANG X J. Development status and market prospect of agricultural potassium nitrate[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020,35(6):50-52.
- [6] 熊增华,王兴富,王石军,等.我国硝酸钾产业发展现状与展望[J].化工矿物与加工,2021,50(5):49-53.
XIONG Z H, WANG X F, WANG S J, et al. Current status and prospect of potassium nitrate development in China[J]. Industrial Minerals & Processing, 2021,50(5):49-53.
- [7] 联合国.关于危险货物运输的建议书 规章范本23版[M].纽约和日内瓦:联合国,2023.
United Nations. Recommendations on the TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS Model Regulations Rev.23[M]. New York and Geneva: United Nations, 2023.
- [8] 中华人民共和国交通运输部.危险货物道路运输规则第3部分:品名及运输要求索引:JT/T 617.3—2018[S].北京:人民交通出版社,2018.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Regulations concerning road transportation of dangerous goods—Part 3: Index of dangerous goods name and transportation requirement: JT/T 617.3—2018[S]. Beijing: China Communications Press, 2018.
- [9] 肖秋平,缪晓栋,刘婉卿.造粒硝酸钾的分类试验研究[J].化肥工业,2016,43(3):81-84.
XIAO Q P, LIAO X D, LIU W Q. Experimental Study of Classification of Granulated Potassium Nitrate[J]. Chemical Fertilizer Industry, 2016,43(3):81-84.
- [10] 马彦平,孙怀波,范宾.造粒处理对硝酸钾危险性分类及关键指标临界值研究[J].中国安全科学学报,2023,33(增1):128-133.
MA Y P, SUN H B, FAN B. Study on risk classification and critical value of key indexes of potassium nitrate by granulation[J]. China Safety Science Journal, 2023,33(S1):128-133.
- [11] 张罡.农业用硝酸钾危险类别浅析[J].无机盐工业,2014,46(5):55-57.
ZHANG G. Analysis on hazard class of potassium nitrate for agricultural use[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2014,46(5):55-57.
- [12] 于兆国,闫湘,李秀英,等.含硝酸盐类水溶肥料的安全性研究[J].中国土壤与肥料,2019(3):154-158.
YU Z G, YAN X, LI X Y, et al. Research on the safety of water-soluble fertilizer containing nitrate[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(3):154-158.
- [13] 联合国.试验和标准手册[M].7版.纽约和日内瓦:联合国,2019.
- [14] FAHMI R, BRIDGWATER A V, DARVELL L I. The effect of alkali metals on combustion and pyrolysis of Lolium and Festuca grasses, switchgrass and willow[J]. Fuel, 2007, 86(10/11): 1560-1569.