

石斛的组织培养与应用

王俊丽,王 前,龙国瑜,杨 林
(中央民族大学 生命与环境科学学院,北京 100081)

摘 要:主要对铁皮石斛(*Dendrobium candidum*)、霍山石斛(*Dendrobium huoshanense*)、鼓槌石斛(*Dendrobium chrysotoxum*)和其他石斛属植物的组织培养方法及其应用进行了评述,并指出了存在的问题,这对石斛属植物资源的丰富和综合开发利用具有重要的指导意义。

关键词:石斛;组织培养;应用

中图分类号:Q 945

文献标识码:A

文章编号:1000-1565(2008)01-0107-06

Tissue Culture and Applications of *Dendrobium*

WANG Jun-li, WANG Qian, LONG Guo-yu, YANG Lin

(College of Life and Environment Sciences, Central University for Nationalities, Beijing 100081, China)

Abstract: Research advances on tissue culture methods of *Dendrobium candidum*, *Dendrobium huoshanense*, *Dendrobium chrysotoxum* and other plants of *Dendrobium* genus and applications are reviewed in this paper. Some problems existed are pointed out, and it is very important for the enrichment of the resources and comprehensive utilization of *Dendrobium*.

Key words: *dendrobium*; tissue culture; application

石斛(*Dendrobium*)为多年生附生性草本植物,常附生于密林树干或岩石上,并常与苔藓植物伴生。其新鲜茎或干燥茎入药,是我国最常用传统药材与中成药的原料药。味甘淡,性微寒。有滋阴养胃、清热生津、滋肾明目的功能,主治病热伤津、口干燥渴、病后虚热、视物不清等症。中药石斛早在《神农本草经》中就被列为上品,其应用历史悠久。据《神农本草经》记载:“石斛除痹下气、补五脏虚劳羸瘦,强阴益精,久服厚肠胃”。现代研究表明:石斛属植物含有多糖、生物碱(例如,石斛茎中含有石斛碱、石斛酮碱、石斛胺、金钗碱、石斛高碱、N-甲基石斛碱、石斛宁等 10 多种生物碱),还含有特殊的菲类、联苄类等抗癌成分,具有显著增强免疫力和抗癌效果。

石斛碱为石斛的主要药用成分,具有止痛、解热作用,可降低心率、血压,减慢呼吸,可产生中度的高血糖,具强壮作用并可解巴比妥中毒。药理试验表明,口服石斛煎剂能促进胃液分泌,帮助消化。石斛中提取的 2 种菲类化合物具有抗人体肺癌、卵巢腺癌和前髓细胞白血病的作^[1]。石斛能显著提高 SOD(超氧化物歧化酶)水平,降低 LPO(过氧化脂质)而起到延缓衰老的作用。能促进 T 细胞生长和淋巴细胞产生移动抑制因子,起到增强免疫的作用。石斛还具有兴奋子宫的作用,有明显的拮抗肾上腺素收缩血管的作用。在治疗白内障方面,对半乳糖所致的酶活性异常变化有抑制或纠正作用,也能阻止或纠正因半乳糖性白内障所

收稿日期:2007-06-25

基金项目:中央民族大学“985”工程资助项目(CUN985-303)

作者简介:王俊丽(1964-),女,河北新乐人,中央民族大学教授,博士,主要从事细胞工程方面的研究。

致的晶状体总脂类与总胆固醇的比例失调.石斛所含的一种酯类成分还有活血化瘀作用,可治疗血栓闭塞性脉管炎、脑血栓、动脉硬化性闭塞等.近些年研究发现,石斛多糖也具有显著的免疫增强活性和抗癌、防癌、抗衰老、抗辐射等多种功效^[2].

全世界石斛属植物约有 1 500 种,主要分布于热带亚洲和太平洋岛屿.我国有石斛 70 多种,能供药用的有 20 余种,主要有金钗石斛、铁皮石斛、霍山石斛、环草石斛、马鞭石斛等.石斛主产于广西、贵州、四川、云南、安徽、西藏、湖北、湖南、江西、福建、台湾、海南等省区^[3].野生石斛进行种子繁殖和营养繁殖,繁殖速度很慢,自然更新能力很差.采用传统的栽培技术,其存活率低,进入盛产期年限长.加之人们掠夺性采挖,资源已严重枯竭,故石斛药源一直处于紧张状态.因此,通过组织培养等生物技术,对扩大石斛资源意义重大.

石斛的组织培养可用根、茎尖、茎节及叶等为外植体,也可对其种子进行培养,获得无菌苗,再进行快繁^[4-5].

1 铁皮石斛的培养

铁皮石斛(*Dendrobium candidum*)又名铁皮兰、节草、耳环石斛等.铁皮石斛因其特殊的生存环境和卓著的滋补功效而名列“中华九大仙草”之首,它既可作为名贵中药和高档饮品,同时还可用作珍稀名贵的兰科花卉资源,是我国新近颁布的《重点保护植物红皮书》中石斛属中的重要成员.野生铁皮石斛为国家三级珍稀濒危保护植物.由于其生长环境要求特殊,野生资源已濒临灭绝.

1.1 胚培养

许智宏等在《药用植物组织培养技术》中指出,取人工授粉的铁皮石斛果实,用体积分数为 75% 的酒精表面消毒 30 s,再用质量分数为 0.1% 的升汞消毒 8 min,无菌水冲洗 4~5 次.在无菌条件下把果实切成小方块,接种到培养基上,每瓶 3~5 块.研究表明, N_6 培养基附加 0.2~0.5 mg/L NAA 和质量分数为 2% 的蔗糖最适合胚的萌发和生长.胚培养中加入椰乳对胚萌发和萌发后的初期生长起促进作用,而香蕉汁对石斛的生根培养和壮苗起促进作用.生根和壮苗培养中不需加入 NAA,在 N_6 培养基中只附加体积分数为 10% 的香蕉汁,就可使幼苗长得更粗壮.培养温度 25~28 ℃,光照强度 1 600~2 000 lx,每日 10~12 h.种子萌发后,转管 3~4 次,当幼苗长出 4~5 片真叶并且具有 3~4 条 1~2 cm 长的根时,可将试管苗进行炼苗、移栽.

石斛原球茎的增殖与胚龄相关.培养不同胚龄的胚,其萌发率不同.研究表明,组织培养的最适胚龄以种子成熟时较好^[6].

刘骅等^[7]研究指出,铁皮石斛试管壮苗阶段的适宜培养基为 $1/2MS$ + 体积分数为 10% 的香蕉水提物 + 2.0 mg/L NAA + 质量分数为 2% 的蔗糖.

通过以上研究可以看出,椰乳、香蕉汁等对铁皮石斛试管苗的增壮具有一定的促进作用,这可能与其丰富的营养或某些活性物质的存在有关.

1.2 茎尖培养

取铁皮石斛当年萌发的嫩芽尖,用质量分数为 10% 的次氯酸钠消毒 10 min,无菌水冲洗 4~5 次.在 $MS + 0.2$ mg/L NAA + 0.5 mg/L 6-BA 培养基中培养 30 d 左右,外植体则可诱导出白色颗粒状愈伤组织.再培养 20 d,即可形成不定芽.将愈伤组织和不定芽切割开,在上述培养基上进行继代培养,愈伤组织会增殖并产生不定芽.再将不定芽移到 N_6 + 体积分数为 10% 的香蕉汁中进行生根培养,30 d 左右则会发育成完整植株^[6].

1.3 幼嫩茎段培养

剪取铁皮石斛幼嫩茎段,按常规表面灭菌,切成 2.0 cm 左右的切段,每段必具 1 个茎节,将其接种到芽增殖培养基 $MS + 0.1 \sim 0.5$ mg/L NAA + 0.5~2.0 mg/L 6-BA 中培养,培养 30~50 d 后,可在节间处长出 1~2 个新芽.将新芽切下,接入芽增殖培养基中继代培养,经过 30 d 培养,在切口处长出 4~6 个芽,形成丛生芽簇.再将丛生芽切割后,在芽增殖培养基中继续增殖培养,则可获得大量丛生芽.将上述丛生芽切割,转入无激素的 MS 培养基中进行壮苗培养.40 d 后,芽可发育成高 3.0 cm 以上并且具 2~3 片叶的健壮无根

苗.将健壮无根苗转接到 $1/2$ MS+ 0.1 mg/L IBA 培养基中进行生根培养,培养 $40\sim 60$ d,在基部便可长出多条肉质、绿色气生根,形成完整植株^[5].

陈薇等^[8]研究指出,取铁皮石斛茎,表面灭菌后,在无菌条件下切成约 5 mm 长的小段,每段应至少保留 1 个节,接种于 $1/2$ MS 培养基内,置 $25\sim 27$ °C、光照条件下培养,约 2 周,腋芽萌发,约 1 个月则形成完整植株.

通过上述研究可以得知: N_6 培养基附加 $0.2\sim 0.5$ mg/L NAA, 2% 蔗糖最适合铁皮石斛胚的萌发和生长,MS 培养基附加 NAA 和 6-BA 适合茎尖和幼嫩茎段培养,香蕉汁等对铁皮石斛试管苗的增壮具有一定的促进作用.

2 霍山石斛的培养

霍山石斛(*Dendrobium huoshanense*)产于安徽霍山地区,是药用石斛中的珍品.霍山石斛对生产条件要求苛刻,种子繁殖能力极低.霍山石斛的人工栽培研究始于 20 世纪 80 年代,但因试管苗根系纤弱不发达,生态环境要求特殊,脱瓶移栽成活率很低,至今还很难进行大规模人工栽培.霍山石斛试管苗的繁殖一般要经过原球茎阶段,可由植株不同部位诱导产生,具有与植株同样的物质代谢和形态发育的潜能.

温云飞等^[9]研究发现, $1/2$ MS+ 0.5 mg/L NAA+ 200 g/L 马铃薯提取物的培养基对霍山石斛的种子萌发条件最适宜.在 $1/2$ MS+ 0.3 mg/L 6-BA+ 0.05 mg/L NAA+ 0.1 mg/L KT 培养基上预培养 $2\sim 3$ 周,然后转入 MS+ 0.3 mg/L 6-BA+ 0.05 mg/L NAA+ 0.1 mg/L KT 培养基上的原球茎增殖最快. MS+ 0.5 mg/L 6-BA+ 0.1 mg/L NAA+ 20 g/L 香蕉提取物对刚从原球茎分化出的小苗具有较强的刺激增殖作用,可使其迅速成为丛生苗.而 MS+ 0.1 mg/L 6-BA+ 0.5 mg/L NAA+ 20 g/L 香蕉提取物可较强诱导已 $2\sim 3$ cm 高的小苗根系生长,并可在很大程度上增强刚分化的小苗的生根能力. MS+ 0.5 mg/L 6-BA+ 0.5 mg/L 腺嘌呤对已具有 $2\sim 3$ 条幼根的小苗可在 $1\sim 2$ 个月内大大增加株高和粗壮分节茎.对已具有 4 个月苗龄的组培苗,在 MS+ 0.1 mg/L 2,4-D+ 1.0 mg/L ZT 上继代 2 个月后,可诱导出花芽数较多的正常花芽,然后再转入 MS+ 10 g/L 香蕉提取物的无激素培养基上,可使花芽正常开花.

2.1 茎诱导和继代培养

张艳等^[10]将霍山石斛试管苗茎段接种于附加 2,4-D,NAA,6-BA,KT 等不同激素组合的 MS 培养基中,于 $23\sim 27$ °C 条件下诱导原球茎.研究表明,在附加 NAA 或 NAA 和 KT 组合的 MS 培养基中,诱导培养 20 d 后,外植体从形态学下端产生黄绿色、颗粒状的原球茎.单独附加 $0.5\sim 5.0$ mg/L NAA 时,原球茎诱导率为 44.3% . $0.5\sim 5.0$ mg/L NAA 与 $0.01\sim 0.5$ mg/L KT 配合使用时,原球茎诱导率为 60.3% ,诱导效果好于仅含 NAA 的培养基.原球茎的产生总是伴随着外植体形态学上端苗的诱导和生长.2,4-D 对外植体存活不利,只要培养基中含有 2,4-D,无论是否与 KT 或 6-BA 配合,外植体全部死亡.在 MS 附加 $0.5\sim 5.0$ mg/L NAA 和 $0.01\sim 0.5$ mg/L 6-BA 组合的培养基中,外植体几乎全部被诱导长苗,未见原球茎产生.

新形成的原球茎继续培养一定时间后,如不及时继代培养极易分化成苗.不同的基本培养基及不同的激素组合对原球茎的增殖和分化影响很大.以 MS,B₅, N_6 等培养基为基本培养基,添加 NAA,KT,6-BA,ABA 等不同激素组合时,原球茎增殖与分化表现差别很大.在 MS 附加 NAA 和 KT 的培养基上,原球茎生长缓慢,分化成苗的趋势较强.当 MS 培养基附加 NAA 和 6-BA 组合时,原球茎表现出旺盛的苗分化能力.在不附加任何激素的 MS,B₅, N_6 基本培养基中,以 MS 培养基中原球茎增殖最旺盛,只有较少苗分化.在 B₅ 培养基中,原球茎增殖一般,原球茎分化苗的能力比较高.虽然 N_6 培养基中原球茎基本无分化现象,但原球茎增殖能力不如在 MS 培养基上效果好,原球茎体积也较小.ABA 对原球茎分化成苗有一定抑制作用,但不利于原球茎的增殖^[10].

生长调节剂在组织培养中发挥着极其重要的作用,但它们的种类不同、配比不同、浓度不同,所发挥的作用也各不同.在温云飞等人的研究中, 0.1 mg/L 2,4-D 和 1.0 mg/L ZT 配合使用,可诱导出花芽数较多的正常花芽,而张艳等人研究发现,2,4-D 对外植体存活不利,只要培养基中含有 2,4-D,无论是否与 KT 或 6-BA

配合,外植体全部死亡.可见,同一种调节剂在不同的培养中有时会出现不同的培养结果.

2.2 原球茎的悬浮培养

罗建平等^[11]采用 MS 基本培养基进行了原球茎液体悬浮培养.250 mL 三角瓶中加入 50 mL 培养液,接种定量的原球茎,在 120 r/min 旋转式摇床上、23~27 ℃ 条件下振荡培养.原球茎在暗中培养时为黄绿色,在光照条件下培养时呈绿色.原球茎生长的时间进程表明,原球茎转入液体培养基后能很快适应培养条件的改变,延滞期较短,培养 1 周已见生物量增加,随后进入对数生长期,原球茎快速增殖,原球茎生长量的自然对数和培养时间成线性关系,最大比生长率(比生长速率为原球茎生长量的自然对数与培养时间之间线性关系的斜率) μ 为 0.044/d,倍增时间 t (原球茎增加 1 倍时所需要的时间)为 15.8 d.4 周后进入稳定生长期,此时原球茎生物量(鲜重)平均可达 415 g/L,是起始接种量的 3.4 倍.当原球茎培养 5 周后,生物量有所降低,培养基变得浑浊,有组织碎片,原球茎生长状态不好.在整个液体培养过程中未见原球茎的分化.

2.3 总生物碱和水溶性多糖的含量

霍山石斛原球茎、试管苗于 60 ℃ 干燥至恒重,取一定量研磨成细粉.总生物碱用氯仿提取,溴甲酚绿染料比色法测定含量.水溶性多糖用体积分数为 80% 的乙醇从原球茎水提液(50~60 ℃、提取 4 次)中提取,苯酚-浓硫酸比色法测定含量.测定结果表明,来自固体培养原球茎的总生物碱和水溶性多糖的质量分数分别为 0.0256% 和 3.94%,来自液体培养原球茎的质量分数分别为 0.0261% 和 3.75%,而试管苗的质量分数分别为 0.0274% 和 3.45%.原球茎、试管苗的总生物碱积累水平接近,而原球茎水溶性多糖含量高于试管苗^[11].

3 鼓槌石斛的组织培养

鼓槌石斛(*Dendrobium chrysotoxum*)又称小爪黄草,在我国仅产于云南,其内含有鼓槌菲、毛兰素等抗肿瘤活性成分.

徐红等^[12]取生长良好且未开裂的鼓槌石斛果实,用体积分数为 70% 的乙醇表面消毒,用质量分数为 5% 的次氯酸钠消毒,无菌蒸馏水冲洗后,切开果实,取种子接种于培养基上.培养基 pH 5.8~6.0,培养温度 24~26 ℃,每日光照 10~12 h,光照强度 1 600~2 000 lx.研究表明,MS,1/2 MS 培养基对试管苗的生长均比较适宜,附加 0.5 mg/L NAA 与 1.0 mg/L 6-BA 有利于幼苗的生长与分化.

徐红等研究还发现,植物中的水溶性多糖能增强人体的免疫能力,具有抗癌、抗动脉硬化、抗高血压等多种生物活性,石斛类药材中富含多糖类成分,其生理活性的强弱与多糖的质量分数有一定的关系.组培苗多糖质量分数为 7.254%,原植物质量分数为 2.833%.可见,组培苗中多糖的质量分数远高于原植物的质量分数.

徐红等^[13]研究发现,光照对胚的萌发率影响不大,在光照培养和暗培养条件下胚的萌发率分别为 87% 和 88%,而对原球茎及幼苗的生长有较大的影响.在暗培养条件下,胚及萌发出的原球茎、幼叶一直呈淡黄色,苗生长缓慢,最后死亡.在光照培养条件下,胚在膨大萌发过程中变为绿色,幼叶色绿,小苗整齐、粗壮.

陈瑞蕊等研究指出,三磷酸腺苷 ATP 是生物体的能量“通货”及重要代谢调节物质,与生命活动至关重要.随着生物有机体的生长发育,ATP 含量呈现出一定的变化趋势,反映出生物体的生长代谢情况.ATP 在鼓槌石斛培养时发生节律性变化,ATP 可作为鼓槌石斛培养时的动态指标,反映在其发育过程中对营养和能量的需求.鼓槌石斛种子在萌发前,ATP 的释放量较少,表明细胞代谢活动处于静止状态,对营养的要求较低;30~40 d,种子由黄色变为绿色,胚萌动,突破种皮,萌发出原球茎,ATP 的释放能量逐步增加,表明细胞代谢活动逐渐由静止期进入活跃期,对营养的需求逐步增多;60 d 原球茎发育出幼叶时,ATP 的释放达到最高峰;此后,进入苗的生长期,ATP 的含量稍有下降,但基本稳定,表明植物在这些时期一直在进行着活跃的代谢活动^[14].

4 其他石斛属植物的组织培养

除上述几种石斛外,还有其他石斛属植物组织培养获得成功^[1,15],如金钗石斛,曲茎石斛,马鞭石斛等,

有的开始投入实际生产应用.

4.1 金钗石斛(*Dendrobium nobile*)

张艳等^[16]、宋锡全等^[17]将金钗石斛的叶片、嫩茎、根进行常规消毒后,切段或切块,采用MS和B5作为基本培养基,并分别附加NAA(0.05~1.5 mg/L),IAA(0.2~1.0 mg/L),6-BA(1.0~5.0 mg/L)等组成不同激素组合,培养温度25~28℃,每天光照9~10 h,光强1 800~1 900 lx.19 d后,茎段出现芽点,约1个月后,芽伸长,尖端分叉,2个月后,芽长至2.0~2.7 cm并具有4~8个叶片的小植株.而叶片和根的切段无芽的出现.研究发现,MS比B5培养基对生长速度具有明显促进作用.

4.2 曲茎石斛(*Dendrobium flexicaule*)

杨联河等^[18,19]、石龙亭^[20]采用种子苗与茎段为外植体进行培养.茎段外植体繁殖快、粗壮,但需原植株量大,生产系数小.种子苗生长周期长,细弱,需反复复壮,但生产系数高.二者结合培养使用,则可取长补短,可提供优质的试管苗,能提高脱瓶移栽的成活率.这对快速繁殖药用石斛,大规模工业化生产极为有利.

4.3 环草石斛(*Dendrobium loddigesii*)

卢文芸等^[21]用环草石斛的茎段作为外植体进行组织培养,以MS培养基为基本培养基,通过形成丛生芽的形式快速繁殖试管苗,改变了过去通过原球茎诱导途径进行繁殖的方式,简化了操作步骤.结果表明:芽诱导最适培养基为MS+0.1 mg/L NAA+1.0 mg/L 6-BA,芽增殖与继代培养基为MS+0.1 mg/L NAA+3.0 mg/L 6-BA,壮苗与生根培养基以1/2 MS+0.7 mg/L NAA为最好.取材的位置不同对环草石斛芽的诱导率有一定的影响,茎尖部位明显要高于其他部位,茎中部次之,而茎基部几乎不能萌发.移栽最适基质以碳酸盐小石子和杉木屑的混和物(体积比为1:2),上面铺盖1 cm厚的苔藓为最好,幼苗的成活率达95%.

5 存在问题与展望

有关石斛属植物组织培养方面的研究工作已取得了一定的进展,多数研究认为,以MS培养基为基本培养基,以根、茎尖、茎节及叶等为外植体,均可获得再生植株.目前多数研究侧重于芽的诱导、增殖和生根培养,而对再生植株的药物成分含量和药效与原植株对比研究较少,组培苗移栽后对环境的适应性和变异情况(包括株高、叶形、花形等生物学特性以及遗传特性)等方面研究更少.因此,这些方面的研究有待进一步加强.

此外,组培快繁技术是扩大石斛属植物资源的一个有效途径,如果在此基础上进行细胞大规模培养,通过培养条件的优化、有效药物成分前体物质和诱导子的使用,刺激有效药物成分的合成和积累,进而对有效成分进行分离提纯,实现石斛有效药物成分的工业化生产,这无疑可有效地推动我国石斛属植物资源的开发和利用,同时也将产生良好的经济效益和生态效益.

参 考 文 献:

- [1] 陈晓梅,郭顺生.石斛属植物化学成分和药理作用的研究进展[J].天然产物研究与开发,2001,13(1):70-74.
- [2] 杨显志,邵 华,周 成,等.生物技术在药用石斛研究中的应用[J].中草药,2002,33(2):173-175.
- [3] 王康正,范 磊,高文远,等.药用石斛栽培的研究概况[J].中国中药杂志,1998,23(6):340-342.
- [4] 冉懋雄.中药组织实用培养技术[M].北京:科学技术文献出版社,2004:454-473.
- [5] 冉懋雄.石斛[M].北京:科学技术文献出版社,2002.
- [6] 许继宏,马玉芳,陈锐平,等.药用植物组织培养技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2003:337-343.
- [7] 刘 骅,张治国.铁皮石斛试管苗壮苗培养基的研究[J].中国中药杂志,1998,23(11):654-655.
- [8] 陈 薇,寸守锐.铁皮石斛茎段离体快繁[J].植物生理学通讯,2002,38(2):145-146.
- [9] 温云飞,鲁润龙,谢子立.霍山石斛的快速繁殖和花芽诱导[J].植物生理学通讯,1999,35(4):296-298.
- [10] 张 艳,彭 锐,范俊安.药用石斛离体培养研究概述[J].时珍国医国药,2000,11(8):763-764.
- [11] 罗建平,查学强,姜绍通.药用霍山石斛原球茎的液体悬浮培养[J].中国中药杂志,2003,28(7):611-613.

- [12] 徐 红,刘 峻,王峰涛,等.鼓槌石斛组织培养研究[J].中国中药杂志,2001,26(6):378-380.
- [13] 徐 红,王峰涛,丁家宜,等.药用石斛生物技术研究概况[J].中国野生植物资源,2001,12(1):1-4.
- [14] 陈瑞蕊,林先贵,施亚琴.药用石斛及其组培技术研究概要[J].江苏农业科学,2002(5):64-66.
- [15] 王康正,高文远.石斛属药用植物研究进展[J].中草药,1997,28(10):633-635.
- [16] 张 艳,范俊安,李泉森,等.金钗石斛培养初步研究[J].时珍国医国药,2001,12(2):189-190.
- [17] 宋锡全,宋琴曲.金钗石斛培养再生绿色植株[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2003,21(3):80-82.
- [18] 杨联河,王倩嵘,石 拓,等.曲茎石斛组织培养研究[J].中国中药杂志,1998,23(11):658-659.
- [19] 杨联河,李根林.曲茎石斛快速繁殖研究[J].中国中药杂志,2002,27(6):460.
- [20] 石龙亭.曲茎石斛放养研究[J].中国中药杂志,1995,20(3):149-150.
- [21] 卢文芸,张宇斌,唐金刚,等.环草石斛(*D. loddigesii* Rolfe.)快速繁殖研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2004,22(4):15-18.

(责任编辑:赵藏赏)

(上接第 56 页)

3 结论

通过控制溶液的 pH,合理使用稳定剂、辅助稳定剂及其用量保证了 BaSO₄ 悬浊液的稳定性.适量艾氏卡试剂将 EG 中的硫全部转化成硫酸盐的形式后,再结合以酸性条件下的硫酸钡比浊法测定,可以方便、准确、快捷地得到 EG 中的硫含量.

参 考 文 献:

- [1] 王立松.三氯化铁为插入剂制备膨胀石墨[J].炭素,2004(3):26-27.
- [2] GB/T 3521-95.石墨化学分析方法[S].
- [3] 敦惠娟,赵爱东,周清泽.硫酸钡重量法测定可膨胀石墨中硫[J].冶金分析,2001,21(4):55-56.
- [4] 侯正高,盛祖康,田凤岗.比浊法测定植物中微量硫[J].西南民族学院学报(自然科学版),1994,20(4):436-438.
- [5] 李 忠,刘思远,黄海涛,等.烟草制品中硫含量测定的研究[J].光谱实验室,2000,17(5):534-535.
- [6] 范建中,杨元斌.白皂素乳化-氯化钡比浊法测定饮水中硫酸盐的应用[J].中国卫生检验杂志,2002,12(1):74-75.
- [7] 余小林.离子色谱法同时测定梨子和梨树叶中的氯和硫[J].现代科学仪器,2002(6):25-27.
- [8] 闫保平,乔元彪,王建平,等.硫酸钡比浊法测定煤中硫含量[J].理化检验(化学分册),1999,35(8):370-370.
- [9] LU X J, FORSSBERG E. Preparation of high-purity and low-sulphur graphite from Woxna fine graphite concentrate by alkali roasting[J]. Minerals engineering, 2002, 15(10):755-757.

(责任编辑:赵藏赏)