

花叶毛白杨组织培养的研究

石进朝, 陈兰芬

(北京农业职业学院, 北京 102442)

摘要:以花叶毛白杨为外植体,探讨了不同生长调节物质对外植体分化、增殖和生根的影响,并对栽培基质与移栽技术进行研究。得出如下结论:(1)花叶毛白杨组织培养最适宜的外植体是带芽茎段。茎尖、叶片、叶柄均可作为花叶毛白杨外植体材料,诱导腋芽的发生。(2)适宜的分化培养基为 MS + BA0.2 mg/L + IBA0.01 mg/L + 2% 蔗糖,继代培养基为 MS + BA0.2 mg/L + NAA 0.05 mg/L + GA₃ 0.2 mg/L + 2% 蔗糖,生根培养基为 1/2MS + IBA0.8 mg/L + 2% 蔗糖。(3)花叶毛白杨的试管苗有性状分离现象。绿叶、花叶、全金叶植株的比例约为 10: 5: 1。

关键词:组织培养;性状分离;花叶毛白杨

中图分类号:S722.37 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2007)04-0090-05

A Study on the Tissue Culture of the *Populus tomentosa* 'Huaye'

SHI Jin-chao, CHENG Lan-fen

(Beijing Agricultural Vocation College, Beijing 102442, China)

Abstract: Using *Populus tomentosa* 'Huaye' as explant, influences of different growth regulating substances on explant differentiation, multiplication and rooting, plant technique and plant materials were studied. The results showed that: (1) The optimum explant material was stem with single bud. However, all the tender stem, leaf and footstalk could be used as explant materials; (2) The optimum differentiation medium was MS + BA0.2 mg/L + IBA0.01 mg/L + 2% sucrose, the optimum subculture medium was MS + BA0.2 mg/L + NAA0.05 mg/L + GA₃0.2 mg/L + 2% sucrose and the optimum rooting medium was 1/2MS + IBA0.8 mg/L + 2% sucrose; (3) The character differentiation occurred in tube seedling growing. The proportion of greenery plants, flower leaf plants and golden leaf plants was 10: 5: 1.

Key words: tissue culture; character differentiation; *Populus tomentosa* 'Huaye'

毛白杨(*Populus tomentosa*)是我国北方特有的乡土树种之一,具有速生、抗性强,材质优良等特点,倍受人们喜爱,在我国北方广为栽培。花叶毛白杨是2003年笔者在三倍体毛白杨快速繁殖中发现变异植株,特点是叶片在整个生长季节为金黄色或黄绿相间,具有较高的观赏价值。三倍体毛白杨扦插不易成活,在生产中主要采用嫁接繁殖,由于繁殖系数低,许多学者进行了三倍体毛白杨组织培养快速繁殖的研究,以提高其繁殖系数^[1-7]。能否通过组织培养快速繁殖花叶毛白杨,把这一彩色树种尽快应用到景观绿化中去,2004年2月~2006年12月对花叶毛白杨进行了组织培养快速繁殖技术研究,取

得了初步的研究成果。

1 材料与方法

为1~3a生花叶毛白杨植株。试验选取花叶毛白杨茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄4个部位作为外植体材料。

1.1 外植体采集与消毒

1.1.1 外植体的采集 2005年12月至次年3月从生长健壮的1~3a生花叶毛白杨植株上采集芽体饱满未萌发的1a生枝条,选取其茎尖及带芽茎段,2005年5月中旬选取叶片、叶柄作为外植体材料。

1.1.2 外植体消毒 花叶毛白杨枝条、茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄表面被白色绒毛,新采集回的花叶毛白杨枝条先用软毛刷蘸少许洗涤剂轻轻刷洗,充分刷洗干净后剪切成1 cm左右的带芽小段,自来水冲洗30 min,洗涤灵溶液中振荡15 min。然后在超净工作台上用95%的酒精消毒1 min,0.5%升汞(AgCl₂)消毒4~6 min,无菌水冲洗7~9次,再用无菌滤纸吸干水分,最后接种在启动培养基上进行培养。接种后将接种体置于培养室培养,培养温度控制在25℃左右,每天光照10 h,光照强度3 000~4 000 lx。

1.1.3 培养基配制 采用MS培养基作为基本培养基,根据不同时期的具体要求添加适宜的激素。各种培养基均添加蔗糖2%,琼脂6.5%,pH调整为5.8,分装后在121℃,1.1 kg/cm²的压力下灭菌20 min备用。

1.2 继代培养

当外植体材料上萌发的芽长到0.5~1 cm时,将芽切下转入继代培养基进行培养,继代周期一般为30 d,增殖倍数2~3倍。

1.3 生根培养

当花叶毛白杨继代苗长到3~4 cm时,切取茎尖转入生根培养基中,10 d左右开始长出根芽,15 d左右根长达到1 cm左右。经过3~4周培养,试管苗已具备了发达、健壮的根,苗茎基部半木质化时,即可进行移栽。

1.4 移栽

在生根培养20 d后,将生长健壮的试管苗打开瓶口,炼苗2~3 d后进行移栽。移栽前在培养瓶中倒入少许清水,将培养基浸软,以减少试管苗根系损伤。然后用镊子轻轻取出带根小苗,用清水洗净根部附着的培养基,将根系小心展开,栽入装有蛭石的育苗盘中。

试管苗移栽初期对环境条件特别是水分要求较严格,空气湿度要控制在90%左右,光照强度5 000~10 000 lx,才能保证较高的移栽成活率。炼苗培养25~30 d后,将小苗及时转移到日光温室中培养30~40 d,当苗木高度为25~30 cm时,即可移植到露地栽培,当年秋末花叶毛白杨高度可达到100~150 cm。

2 结果与分析

2.1 不同激素对带芽茎段外植体芽萌发的影响

在MS基本培养基中分别加入不同浓度的BA、IBA或NAA,以芽萌发率及生长势确定花叶毛白杨带芽茎段外植体芽萌发适宜的培养基。不同激素对

花叶毛白杨带芽茎段外植体芽萌发的影响见表1。

表1 不同激素对带芽茎段外植体芽萌发的影响

Table 1 Effect of different hormones on burgeon of stem with single bud explant				
培养基	接种带芽茎段数/个	污染数/个	萌发数/个	生长势
MS	10	5	5	单芽萌发
MS + BA0.2mg/L + IBA0.01mg/L	10	3	7	单芽、隐芽萌发,生长健壮
MS + BA0.4mg/L + NAA0.01mg/L	10	6	4	单芽、隐芽萌发多,细弱

由表1可知:在供试的3种培养基中都能萌发出芽,在BA0.2 mg/L,IBA0.01 mg/L的培养基中芽萌发数最多,长势最好。表明MS + BA0.2 mg/L + IBA0.01 mg/L为花叶毛白杨带芽茎段外植体芽萌发适宜的培养基。

2.2 不同激素对试管苗增殖生长的影响

在MS基本培养基中分别加入BA0.1~0.2 mg/L、NAA0.01~0.1 mg/L、GA₃0.2 mg/L及KT0.1 mg/L,依据25 d后平均增殖倍数、腋芽高度及无菌苗生长势,确定花叶毛白杨试管苗增殖生长适宜的培养基。

表2 不同培养基对试管苗增殖生长的影响

Table 2 Effect of different substrats on proliferate growth of cuvette seedling

增殖培养基	25 d后平均增殖倍数	25 d后芽高度/cm	无菌苗生长势
MS + BA0.2mg/L + NAA0.1mg/L	2.3	1.5	苗弱,不拔节
MS + BA0.1mg/L + NAA0.01mg/L + GA30.2mg/L	1.5	1.0~1.5	苗弱,不拔节
MS + BA0.2mg/L + NAA0.05mg/L + GA30.2mg/L	3.0	3.0~4.0	叶小、嫩绿、粗壮
MS + BA0.5mg/L + NAA0.01mg/L + GA30.2mg/L	3.3	2.0~3.0	叶细长失绿,苗弱
MS + BA0.5mg/L + KT0.1mg/L + GA30.2mg/L	3.6	>2.0	出现玻璃苗

由表2可看出,添加较高浓度的BA0.5 mg/L、KT0.1 mg/L、GA₃0.2 mg/L对花叶毛白杨试管苗增殖有促进作用,25 d后平均增殖倍数可达3.6,但会出现玻璃苗现象。添加较低浓度的BA0.1 mg/L、NAA0.01 mg/L增殖倍数较低(1.5),试管苗不拔节。在花叶毛白杨试管苗增殖过程中,添加BA0.2 mg/L、NAA0.05 mg/L、GA₃0.2 mg/L可获得较多的有效无菌苗,25 d后平均增殖倍数可达3,芽高3~4 cm。即MS + BA0.2 mg/L + NAA0.05 mg/L + GA₃0.2 mg/L可作为花叶毛白杨试管苗适宜的增殖培养基。本研究可以看出,添加GA₃不仅可起到打破休眠和促进细胞和茎伸长的作用,还对生长素和细胞分裂素的活性有增效作用。

2.3 不同浓度 IBA 对试管苗生根的影响

IBA 有促进生根的作用^[8]。在花叶毛白杨生根过程中基本培养基采用了 1/2MS, IBA 浓度设置为 0.3、0.5、0.8、1.0 mg/L。依据单株生根数及根生长势,确定生根培养适宜的培养基(表 3)。

表 3 显示,不同浓度 IBA 对花叶毛白杨单株生根数、根生长状况有显著影响,其中 1/2MS + IBA0.8 mg/L 培养基生根时间短,生根数量多,根生长健壮,最适宜作为花叶毛白杨生根培养基。

表 3 不同浓度 IBA 对试管苗生根的影响

Table 3 Effect of different IBA concentration on cuvette seedling rooting

IBA 浓度 (mg · L ⁻¹)	调查株 数/株	单株生 根数/条	根生长势
1.0	20	5.43	基部出现愈伤组织
0.8	20	6.78	生根时间短,根多且壮
0.5	20	3.66	根细长
0.3	20	2.46	生根时间长,根少且细长

2.4 不同外植体材料对花叶毛白杨初代、继代及生根生长的影响

2.4.1 不同外植体材料对初代发芽的影响 试验选取花叶毛白杨茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄四个部位作为外植体材料,进行消毒后,在 MS + BA0.2 mg/L + IBA0.01 mg/L 培养基上培养。依据发芽数确定花叶毛白杨适宜的外植体材料。

表 4 不同外植体材料与初代发芽的关系

Table 4 Relations of different explants to first era axillary buds

外植体材料	培养天数/d	处理数 /个	污染数 /个	发芽数 /个
茎尖	15 ~ 17	10	6	1
带芽茎段	16 ~ 20	10	3	7
叶片	40 ~ 50	10	5	2
叶柄	40 ~ 50	10	3	3

表 4 显示:花叶毛白杨茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄 4 个部位均可作为外植体材料,诱导出腋芽的发生。用花叶毛白杨带芽茎段作外植体取材部位,发芽率较高。茎尖和叶片较嫩,容易在消毒过程中被杀死,发芽率较低。叶柄虽然污染率较低,但发芽率远小于带芽茎段发芽率。另外在试验中发现,花叶毛白杨茎尖和带芽茎段萌发一般需 15 ~ 20 d 时间,而叶片和叶柄则需 40 ~ 50 d 才能经愈伤组织诱导出腋芽,所需时间较长。因此,花叶毛白杨带芽茎段是外植体适宜的取材部位。

2.4.2 不同激素对各类外植体继代苗生长的影响

为了探索不同激素与花叶毛白杨茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄产生继代苗生长的关系,在 MS 培养基中加入 BA0.1 ~ 0.6 mg/L、NAA0.01 ~ 0.05 mg/L

及 GA₃0.2 mg/L,茎尖、带芽茎段培养 30 d,叶片、叶柄培养 40 d,统计平均增殖倍数,观测继代腋芽生长势。结果分别见表 5、表 6、表 7、表 8。

表 5 不同激素对茎尖继代苗芽萌发的影响

Table 5 Effect of different hormones on subcultural seedlings buds of tender stem

培养基	茎尖继代 苗数/个	增殖倍数	生长势
MS + BA0.1mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	2.3	苗小、个别苗拔节
MS + BA0.2mg/L + NAA0.05mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.0	较壮、长势整齐
MS + BA0.6mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.2	出现玻璃苗

表 6 不同激素对带芽茎段继代苗芽萌发的影响

Table 6 Effect of different hormones on subcultural seedlings buds of stem with single bud

培养基	带芽茎段继 代苗数/个	增殖倍数	生长势
MS + BA0.1mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	2.3	苗小、个别苗拔节
MS + BA0.2mg/L + NAA0.05mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.1	叶小、粗壮、整齐
MS + BA0.6mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.2	叶片过大,苗徒长

表 7 不同激素对叶片外植体继代苗芽萌发的影响

Table 7 Effect of different hormones on subcultural seedlings buds of leaf

培养基	叶片继代 苗数/个	增殖倍数	生长势
MS + BA0.1mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	2.0	苗小
MS + BA0.2mg/L + NAA0.05mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.1	叶小、粗壮、整齐
MS + BA0.6mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.0	个别叶片脱落

表 8 不同激素对叶柄继代苗芽萌发的影响

Table 8 Effect of different hormones on subcultural seedlings buds of footstalks

培养基	叶柄继代 苗数/个	增殖倍数	生长势
MS + BA0.1mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	2.1	苗小
MS + BA0.2mg/L + NAA0.05mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.3	叶小、粗壮、整齐
MS + BA0.6mg/L + NAA0.01mg/L + GA ₃ 0.2mg/L	10	3.1	个别叶片脱落

由表 5、表 6、表 7、表 8 可看出:不同激素对花叶毛白杨茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄外植体继代苗腋芽生长的影响规律相似。培养基 MS + BA0.1 mg/L + NAA0.01 mg/L + GA₃0.2 mg/L 对花叶毛白杨茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄继代苗芽萌发的平均增殖

倍数变化在 2.1 ~ 2.3 之间, MS + BA0.2 mg/L + NAA0.05 mg/L + GA₃0.2 mg/L 对继代苗芽萌发的平均增殖倍数变化在 3.0 ~ 3.3 之间, MS + BA0.6 mg/L + NAA0.01 mg/L + GA₃0.2 mg/L 对继代苗芽萌发的芽平均增殖倍数变化在 3.0 ~ 3.2 之间。花叶毛白杨的组织培养不论是选择茎尖、带芽茎段, 还是选取叶片及叶柄做为外植体, 在相同的培养条件下, 其继代培养中腋芽萌发能力都较强, 试管苗的生长情况差异不明显。

2.4.3 不同外植体的继代苗与生根的关系 试验中, 选择花叶毛白杨茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄外植体萌发的腋芽, 在 1/2MS + IBA0.8 mg/L 培养基上培养, 观测不同外植体材料产生的继代苗与生根之间的关系。由表 9 可看出, 来自不同外植体材料的继代苗, 在相同培养条件下其生根率、单株生根数和根生长势差异不大。在花叶毛白杨的快速繁殖过程中, 茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄外植体除在初代培养中发芽率和发芽时间存在一定差异外, 它们的继代苗生长与生根中的表现基本一致。因此, 选取花叶来自毛白杨的茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄任何一个部位的继代苗进行生根培养都是可行的。

表 9 不同外植体的继代苗与生根的关系

Table 9 Relations of different subcultural seedlings to rooting				
芽来源	处理个数	单株生根数/条	生根率/%	根系生长势
0 茎尖	10	6.78	100	根多、壮
带芽茎段	10	6.80	100	根多、壮
叶片	10	6.62	100	根多、壮
叶柄	10	6.71	100	根多、壮

2.5 性状分离

在花叶毛白杨快速繁殖过程中, 再生植株在扩繁阶段发生了性状分离现象, 即花叶毛白杨的茎尖、带芽茎段、叶片、叶柄作外植体培养时, 出现了叶片为绿叶、花叶、全金叶的叶色性状分离现象。选择绿叶、花叶、全金叶植株进行继代培养时, 绿叶植株的再生苗为绿叶, 花叶植株再次出现绿叶、花叶、全金叶的叶色性状分离现象, 全金叶植株的再生苗为全金叶。绿叶、花叶、全金叶植株的比例约为 10: 5: 1(表 10)。在试管苗生根移栽过程中绿叶植株成活

表 10 花叶毛白杨叶色性状分离统计

Table 10 Statistics table of character differentiation of <i>Populus tomentosa</i> 'Huaye'			
叶色	出瓶株数/株	成活株数/株	成活率/%
全绿叶	269	198	73.6
花叶	55	12	21.8
全金叶	26	0	0

率最高, 花叶植株次之, 而全金叶植株全部死亡。这

是由于金叶植株体内缺少叶绿素, 不能进行自养生长, 导致全部死亡。究竟是何种原因导致花叶毛白杨叶色性状分离还需做进一步深入的研究。

2.6 影响试管苗移栽成活率的因素

2.6.1 开瓶炼苗时间对试管苗移栽成活率的影响

由表 11 可看出, 不开瓶炼苗花叶毛白杨的移栽成活率仅为 53.3%, 而打开瓶口 5 ~ 6 d, 移栽成活率为 60%, 只有开瓶 2 ~ 3 d 的试管苗移栽成活率最高, 达 83.0%。因此, 开瓶 2 ~ 3 d 后进行花叶毛白杨试管苗移栽能够获得较高的成活率。

表 11 开瓶炼苗时间对试管苗移栽成活率的影响

Table 11 Effect of transplant survival rate on open the cuvette times			
开瓶炼苗时间/d	移栽数/株	成活数/株	成活率/%
0	30	16	53.3
2 ~ 3	30	25	83.0
5 ~ 6	30	18	60.0

2.6.2 试管苗地径对移栽成活率的影响

把 <0.2、0.2 ~ 0.5 及 0.5 ~ 1 mm 三种规格地径的花叶毛白杨试管苗移植在蛭石中培养。表 12 显示: 花叶毛白杨试管苗地径与移栽成活率成正相关。地径 0.5 ~ 1 mm 的花叶毛白杨试管苗移栽后, 不仅生长快, 而且有大量根毛生长。因此, 在进行试管苗移栽时, 选用地径 ≥ 0.5 mm 的花叶毛白杨能够获得 75.0% 以上的成活率。

表 12 试管苗地径对移栽成活率的影响

Table 12 Effect of transplant survive rate on cuvette seedling diameter				
基茎/mm	移栽数/株	成活数/株	成活率/%	根系生长状况
<0.2	40	13	32.5	生长慢, 根毛极少
0.2 ~ 0.5	40	21	52.5	生长较快, 根毛数量一般
0.5 ~ 1	40	30	75.0	生长快, 有大量根毛

2.6.3 移栽基质对花叶毛白杨试管苗移栽成活率的影响

表 13 显示: 将花叶毛白杨生根苗移栽到保水、透气性好的蛭石上, 成活率在 78% 以上, 移栽到透气性较差的 3 份沙与 1 份腐殖质土混合物中, 成活率不足 50%。因此, 移栽花叶毛白杨试管苗时, 选择蛭石作培养基质较好。

表 13 移栽基质对试管苗移栽成活率的影响

Table 13 Effect of transplant survive rate of cuvette seedling on culture medium			
基质种类	移栽数/株	成活数/株	成活率/%
蛭石	40	31	78
细沙	40	26	65
3 沙 + 1 腐殖质土	40	19	48

试管苗移栽成活率受多种因素影响。从试管苗地茎、移栽基质等方面进行的研究表明: 试管苗越粗壮, 木质化程度越高, 移栽成活率越高, 根系生长越

好。开瓶炼苗时间长短对试管苗移栽成活率的影响也很大。移栽前打开瓶口炼苗可使苗木粗壮,增强对水分胁迫和病害的抗性,能够提高移栽成活率。

3 结论与讨论

3.1 结论

花叶毛白杨组织培养最适宜的外植体取材部位是带芽茎段。茎尖、叶片、叶柄也可作为花叶毛白杨外植体材料,诱导出腋芽的发生。

花叶毛白杨组织培养的不同培养阶段的适宜培养基分别为:分化培养基为 MS + BA0.2 mg/L + IBA0.01 mg/L;继代培养基为 MS + BA0.2 mg/L + NAA0.05 mg/L + GA₃0.2 mg/L;生根培养基为 1/2MS + IBA0.8 mg/L。

栽培管理要点。首先选取生长健壮的生根瓶苗打开瓶口 2~3 d,选用地径 ≥ 0.5 mm 的花叶毛白杨试管苗移栽到干净的蛭石中,初期保持较高的空气湿度,移栽后每隔 4~5 d 喷施一次营养液,经一个月左右驯化,能够获得 75.0% 以上的成活率。

花叶毛白杨的试管苗有性状分离现象。出现了叶片为绿叶、花叶、全花叶毛白杨植株。绿叶、花叶、全金叶植株的比例约为 10: 5: 1。在试管苗生根移栽过程中绿叶成活率最高(78%),花叶次之(21%),而全金叶植株全部死亡。究竟是何种原因导致花叶毛白杨叶色性状分离以及如何提高纯金叶和花叶品种移栽成活率还需做进一步深入的研究。

3.2 讨论

关于花叶毛白杨的产生问题。本研究材料花叶毛白杨是 2003 年笔者在三倍体毛白杨的规模化生产中发现的三倍体毛白杨叶色变异体。在植物组织

培养中,连续多次继带培养时,受激素等因子的影响,会发生植物的性状变异现象^[9~12]。2004 年 3 月上旬以 107 杨作砧木嫁接花叶毛白杨,获得了花叶毛白杨植株,连续 3 年表现一致,表明花叶毛白杨具有遗传性,可以通过嫁接方法繁殖。

参考文献:

- [1] 李景琦,胡晓莉,王成社,等.不同激素对三倍体毛白杨腋芽诱导和增殖效应的研究[J].西北林学院学报,2002,17(2):37-40.
- [2] 郝贵霞,朱祯,朱之悌.毛白杨叶片组培再生芽的玻璃化问题探讨[J].北京林业大学学报,1999,21(1):68-71.
- [3] 陆瑞菊,黄剑华,王亦菲,等.三倍体毛白杨快繁技术研究[J].中国农学通报,2003,19(2):80-82.
- [4] 朱红斌,魏晓兰,陈晓妮,等.三倍体毛白杨组织培养再生系统的建立[J].甘肃林业科技,2002,27(3):6-7,36.
- [5] 左永忠,崔宝禄,李坤霞,等.芽变毛白杨组织培养初步研究[J].河北林果研究,2006,21(1):10-13.
- [6] 石超,何秀霞,李彦舫.三倍体毛白杨带芽茎段遗传转化系统的建立[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2003,18(31):232-234.
- [7] 卢善发,赵华燕,魏建华,等.三倍体毛白杨组织培养再生系统的建立[J].植物学报,2001,43(4):435-437.
- [8] 李浚明.植物组织培养教程(第2版)[M].北京:中国农业大学出版社,2002.25-26.
- [9] 高新一,王玉英.植物无性繁殖实用技术[M].北京:金盾出版社,2003.478-482.
- [10] 李周岐,寇世强,徐养福.林木组织培养中的体细胞无性系变异[J].西北林学院学报,2004,19(4):77-81.
- [11] 李浚明.体细胞无性系及其变异[J].遗传,1983,5(1):41-44.
- [12] 朱至清.体细胞无性系变异与植物改良[J].植物学通报,1991,8(增):1-8.

(上接第 68 页)

- [22] 林天,何园球,李成亮,等.红壤旱地中土壤酶对长期施肥的响应[J].土壤学报,2005,42(4):682-686.
- [23] 袁霞,何斌,八角林地土壤酶活性和养分的分布特点及其相

关分析[J].经济林研究,2004,22(2):10-13.

- [24] 刘梦云,安韶山,常庆瑞,等.宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价[J].水土保持研究,2005,12(3):35-37.