

巨龙竹种子、小穗外植体愈伤组织的诱导培养*

耿树香^{1,2}, 普晓兰¹, 王曙光¹

(1. 西南林学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南省林业科学院, 云南 昆明 650204)

摘要: 通过对巨龙竹种子和小穗两种外植体愈伤组织初导培养基和增生培养基的筛选及防褐化处理试验, 结果表明, 巨龙竹种子和小穗初导培养基最优组合为 $3/4$ MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT + 25 g/L, MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT + 25 g/L; 其种子和小穗的增生培养基最优组合分别为 MS + (3~5 mg/L) 2,4-D + 0.3 mg/L KT、MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT; 在特定培养条件下, 对褐变有一定程度的控制。

关键词: 巨龙竹; 种子; 竹穗; MS 培养基; 愈伤组织培养

中图分类号: S 795.9; S 722.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2006) 04-0078-06

A Study on Callus Induction Culture of *Dendrocalamus sinicus*GENG Shu-xiang^{1,2}, PU Xiao-lan¹, WANG Shu-guang¹

(1. Southwest Forestry College, Kunming Yunnan 650224, P. R. China; 2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming Yunnan 650204, P. R. China)

Abstract: Experiment of callus induction culture of *Dendrocalamus sinicus* including medium screening and brown-prevented was conducted by using seed and small bamboo spike as explants. The experimental results showed that the optimum media for callus induction of seeds and small bamboo spike were $3/4$ MS + (3 ~ 5 mg/L) 2,4-D + 0.3 mg/L KT and MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT respectively, the rate of callus induction achieved 100 %. The optimum multiplication media were MS + (3 ~ 5 mg/L) 2,4-D + 0.3 mg/L KT and MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT respectively. The experimental results also indicated that culture under dark condition, the brown phenomenon could be somewhat prevented.

Key words: *Dendrocalamus sinicus*; seed; small bamboo spike; MS; callus culture

20 世纪 80 年代以来, 不少国家与地区开始把组培方法应用于竹类繁殖, 认为是快速发展竹类的一条新途径。现今印度、我国台湾、新加坡、马来西亚、泰国、日本、比利时、菲律宾、尼泊尔、苏格兰等国家或地区, 先后对牧竹属 (*Dendrocalamus*)、荊竹属 (*Bambusa*)^[1]、绿竹属 (*Dendrocalamopsis*)、刚竹属 (*Phyllostachys*) 和赤竹属 (*Sasa*)^[2] 中的一些竹种, 如牡竹 (*Dendrocalamus strictus*)^[3]、白绿竹 (*B. oldhamii*)^[4]、吊丝球竹 (*Dendrocalamopsis beecheyana*)^[5]、凤凰竹 (*B. multiplex*)^[6]、人面竹 (*P. Aurea*)、赤竹 (*S. pygmaea*)^[7]、马甲竹 (*B. tulda*)^[8]、版纳甜龙竹 (*Dendro hamiltonii*)、墨西哥雨竹 (*Oatea*

acuminatn)^[9]、龙头竹 (*B. vulgaris*)、龙竹 (*Dendrocalamus giganteu*)^[10] 等进行了组织培养的研究。分别以种子的种子胚及胚状茎轴, 嫩梢竹枝小段, 侧嫩梢顶芽, 茎节间组织切段, 空心茎休眠芽, 幼竹笋叶箨基部小块, 花药花序等为外植体, 应用添加了各种不同浓度激素的 MS 或改良 MS 培养基、改良 White^[11]、BM^[12] 和 B₅^[3] 培养基, 通过固体或液体悬浮培养或原生质体培养等方法, 诱导出愈伤组织或丛芽, 并在多个竹种上培养出小植株。还对某些种的试管开花进行了研究, 并获得成功^[13]。竹子组培在我国相对起步较晚, 迄今为止, 只有印度荊竹 (*Bambusa arundinacea*)、黄竹 (*Dendrocalamus*

* 收稿日期: 2006-09-12

第一作者简介: 耿树香 (1978-), 女, 云南宣威人, 硕士, 主要从事林木细胞与分子生物技术的研究。

membraneus)^[14]、麻竹 (*D. latiflorus*)^[15] 和勃氏甜竹 (*D. brandsii*) 壮绿竹 (*D. validus*)^[16] 等少数竹种的组培获得成功。

巨龙竹 (*Dendrocalamus sinicus*) 是禾本科 (Gramineae) 竹亚科 (Bambusoideae) 牧竹属 (*Dendrocalamus*) 大型热带丛生竹, 是世界上干形最大的工业用材竹种。但其受生长特性的限制, 只生长于云南的局部地区, 不耐寒冷, 且本竹种具有大多数竹类植物所具有的共性——败育, 种子产量极低, 因而阻碍了该竹种的发展。本项目对巨龙竹的组培技术进行了研究, 从中对巨龙竹愈伤组织及其增殖所用培养基的选择、激素的使用及变褐等问题进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 取材与消毒

2005年8月从云南沧源的班老与班洪乡采到220粒巨龙竹种子及一些未开花的小穗, 小穗置于冰箱(4℃)保存备用。

(1) 选取饱满、发育完全、污染较轻的种子, 削去其长花柱一端的较多茸毛, 经蒸馏水清洗后, 用2%~2.5%的NaCl溶液消毒15min, 蒸馏水清洗3次后, 用淡红色的高锰酸钾水溶液浸泡催芽12~16h。接种前, 在超净工作台上再用2‰的HgCl₂溶液消毒30min, 用无菌水清洗5次后接种。消毒时, 加3~4滴吐温作表面活性剂, 并摇动, 使材料能均匀消毒。

(2) 小穗用自来水冲洗干净, 蒸馏水清洗3次后, 在超净工作台上再用75%的酒精浸泡0.5min, 以2‰的HgCl₂溶液消毒30min, 用无菌水清洗5次后接种。

1.2 两种外植体愈伤组织初导培养基的筛选试验

影响巨龙竹愈伤组织产生的因素很多, 如所取的外植体, 基本培养基的种类, 2,4-D的用量, 蔗糖的用量, KT的用量, 培养基的pH值等。

采用改良MS、3/4MS和1/2MS(大量元素的用量为全MS的3/4, 其他母液的用量不变。1/2MS类推)做基本培养基, 加入不同浓度的细胞分裂素(BA或KT), 外加20~30g/L蔗糖为碳源, 凝固剂琼脂为5.8~6.5g/L, pH值为5.8~6.2。

用正交试验选择其最优组合, 即用4因素3水平的L₉(3⁴)正交表安排此实验, 见表1。用极差分析选择试验参数。选择巨龙竹种子及小穗愈伤组

织诱导的主要影响因素及最适初导培养基。

表1 正交试验因素水平表

Tab. 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	改良 MS (A)	2,4-D /mg·L ⁻¹ (B)	KT /mg·L ⁻¹ (C)	蔗糖 /g·L ⁻¹ (D)
1	1	2	0.3	20
2	3/4	3	0.5	25
3	1/2	4	1.0	30

注: MS为Murashige & Skoog; 2,4-D为2,4-二氯苯氧乙酸; KT为激动素(6-咪唑氨基嘌呤), 下表同。

1.3 两种外植体愈伤组织增生培养基的筛选试验及防褐化处理

诱导巨龙竹愈伤组织的基本培养基, 经正交试验选择后进一步进行巨龙竹愈伤组织的增生培养, 并选择合适的愈伤组织增生培养基。把消毒好的巨龙竹外植体(种子及小穗)于同一天分别接种在6种培养基内, 种子有48瓶; 小穗有40瓶; 每瓶4个材料。

接种后放入26±2℃恒温培养箱中进行暗培养。每隔15天继代一次, 较大的愈伤组织切离外植体, 接种到增生培养基上。继代培养8代左右, 分别调查各不同培养基愈伤组织出现的天数, 以比较各种诱导培养基和选择合适的外植体。对已诱导出愈伤组织并褐化的巨龙竹种子有16瓶, 小穗的为20瓶, 每瓶4个材料, 在不同培养基中进行增生培养, 并对其褐化的巨龙竹愈伤组织进行防褐化处理。

2 结果与分析

2.1 两种外植体愈伤组织初导培养基的筛选结果

初导培养基筛选正交试验及分析结果见表2。表2中, 其极差计算公式: $R_j = \max(K_{j1}, K_{j2}, \dots, K_{jm}) - \min(K_{j1}, K_{j2}, \dots, K_{jm})$ 计算得R值, 试验结果表明巨龙竹种子各R值, $R_B > R_A > R_C > R_D$, 所以因素对试验指标影响的主次顺序为 $B > A > C > D$, 即: 2,4-D用量 > 改良MS > KT用量 > 蔗糖用量。而巨龙竹小穗各R值中 $R_B > R_C > R_A > R_D$, 所以因素对试验指标影响的主次顺序为 $B > C > A > D$, 即: 2,4-D用量 > KT用量 > 改良MS > 蔗糖用量。

K_{jm} 为第j列因素m水平所对应的试验指标和。从表2中可得巨龙竹种子初导培养基中 A_2 、 B_2 、

C_2 、 D_2 分别为 A、B、C、D 的优水平,而 A、B、C、D 4 因素的优水平组合 $A_2B_2C_2D_2$ 为最优水平组合,即种子初导培养基为 $3/4$ MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT + 25 g/L 蔗糖。而巨龙竹小穗的初导培养基中 A_1 、 B_2 、 C_2 、 D_2 分别为 A、B、C、D

的优水平。而 A、B、C、D 4 因素的优水平组合 $A_1B_2C_2D_2$ 为最优水平组合,即巨龙竹小穗愈伤组织的初导培养基的最佳配方为 MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT + 25 g/L 蔗糖。

表 2 初导培养基筛选正交试验结果

Tab. 2 Orthogonal experimental results of induction culture medium screening

处理	因素				出愈率/% 种子(小穗)
	改良 MS(A)	2,4-D/mg · L ⁻¹ (B)	KT/mg · L ⁻¹ (C)	蔗糖/g · L ⁻¹ (D)	
1	1(1)	1(2)	1(0.3)	1(20)	54.5(48.2)
2	1(1)	2(3)	2(0.5)	2(25)	70(55.2)
3	1(1)	3(4)	3(1.0)	3(30)	66.2(47.4)
4	2(3/4)	1(2)	2(0.5)	3(30)	67.5(48.1)
5	2(3/4)	2(3)	3(1.0)	1(20)	69.5(48.9)
6	2(3/4)	3(4)	1(0.3)	2(25)	69.2(48.6)
7	3(1/2)	1(2)	3(1.0)	2(25)	65.3(45.2)
8	3(1/2)	2(3)	1(0.3)	3(30)	69(51.4)
9	3(1/2)	3(4)	2(0.5)	1(20)	68.3(48.0)
K_{11}	190.7(150.8)	187.3(141.5)	192.7(148.2)	192.3(145.1)	
K_{22}	206.2(145.6)	208.5(155.5)	205.8(151.3)	204.5(149)	
K_{33}	202.6(144.6)	203.7(144.0)	201(141.5)	202.7(146.90)	
K_{11}	63.6(50.3)	62.4(47.2)	64.2(49.4)	64.1(48.4)	
K_{22}	68.7(48.5)	69.5(51.8)	68.6(50.4)	68.2(49.7)	
K_{33}	67.5(48.2)	67.9(48.0)	67(47.2)	67.6(49.0)	
优水平	$A_2(A_1)$	$B_2(B_2)$	$C_2(C_2)$	$D_2(D_2)$	
R_j	5.1(2.1)	7.1(4.6)	4.4(3.2)	4.1(1.3)	

注:出愈率为愈伤组织出现的百分率 = 出现愈伤组织的接种材料数/接种材料总数 × 100%。初导培养基筛选因素的主次顺序,种子为 BACD,小穗为 BCAD。

在表 2 巨龙竹愈伤组织增生培养基中添加 KT, 易使愈伤组织基部变黑,致使愈伤组织的增生受到一定程度的抑制,因此,诱导愈伤组织产生的关键主要不在于生长素与细胞分裂素的比例,而在于选择合适浓度的 2,4-D。虽然 2,4-D 在 3~10 mg/L

浓度范围内都能诱导愈伤组织产生,但对于愈伤组织的形成及愈伤组织的质地都宜采用较低浓度的 2,4-D。一般采用 MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT 作为巨龙竹愈伤组织的基本培养基。

表 3 巨龙竹种子及小穗愈伤组织增生培养结果

Tab. 3 Results of callus multiplication culture of seeds and small bamboo spike

时间/d	试验	种子愈伤组织生长状况	小穗愈伤组织生长状况
7~15	加 KT 不加 2,4-D	愈伤组织未出现	愈伤组织未出现
15	加 2,4-D, 不加 KT	有的胚轴表面长出愈伤组织,有的直接从种子胚一端长出,愈伤组织萌发较早的开始长出子叶	愈伤组织水渍化,易褐化,且生长缓慢
15~30	加 2,4-D, 加 KT	大部分种子长出愈伤组织,萌发较早且长出子叶的种子未形成愈伤组织	大部分小穗出现愈伤组织,脆,易褐化
>30	加 2,4-D, 加 KT	愈伤组织继续膨大,易褐化,需继代培养	整个小穗都膨大,仅小穗的顶部和各小花的外稃没有愈伤组织

2.2 两种外植体愈伤组织增生培养基的筛选及防褐化处理结果

两种外植体愈伤组织增生培养基的筛选结果见表3、表4。由表3结果显示: 使用不加2,4-D, 只加细胞分裂素KT (0.2~0.5 mg/L) 的MS基本培养基, 均没有愈伤组织的出现; 另外, 用不加任何细胞分裂素、只加2,4-D (3 mg/L) 所进行的试验, 2周后出现愈伤组织, 由此看来细胞分裂素对巨龙竹种子愈伤组织的诱导效果不佳。对小穗, 2,4-D 为3~7 mg/L 的浓度范围内, 在15~30天内都可诱导出愈伤组织, 而且接种几周后, 所产生的愈伤组织出愈率接近, 种子的为90.0%, 小穗的为91.5%。

不同巨龙竹外植体及不同培养基产生的愈伤组

织颜色质地不同。由表4结果看出, 巨龙竹种子为外植体、基本培养基为MS + (3~5 mg/L) 2,4-D + 0.3 mg/L KT 所产生的愈伤组织为白色至黄白色, 质地疏松, 易碎颗粒; 小穗为外植体、培养基为MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT 所产生的愈伤组织为白色至黄白色, 质地疏松; 其他的不同浓度2,4-D 及KT 结合使用培养基所诱导出的愈伤组织质地不好, 均有不同程度的褐变。所以对于巨龙竹不同外植体诱导其愈伤组织产生的最适基本培养基不同, 种子的愈伤组织增生培养基是MS + (3~5 mg/L) 2,4-D + 0.3 mg/L KT, 小穗为: MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT, 见表4。

表4 巨龙竹两种外植体愈伤组织增生培养基筛选结果

Tab. 4 Results of multiplication culture medium screening of two explants

供试材料	培养基	愈伤组织质地及色泽
种子	MS + (3~5 mg/L) 2,4-D + 0.3 mg/L KT	愈伤组织白色到黄白色, 质地疏松
小穗	MS + 3 mg/L 2,4-D + 0.3 mg/L KT	愈伤组织白色到黄白色, 质地疏松

两种外植体愈伤组织增生培养基防褐化处理结果见表5。对已褐化的巨龙竹愈伤组织去除褐化部分进行增生培养, 在增生培养基中虽然改善了愈伤组织培养的营养环境, 但其增生效果并不理想。原因是竹类含酚多, 氧化而引起愈伤组织褐变。首先

是接近培养基的基部开始变褐变黑, 使愈伤组织块从白色渐转成灰褐或黄褐色, 并向培养基周围扩散, 直至整瓶培养基呈褐色, 褐变对细胞有毒害作用, 愈伤组织随着黑褐部分向上蔓延, 而变黑死亡。

表5 不同防褐化物质对愈伤组织诱导的效果比较

Tab. 5 Results of multiplication culture medium screening of two explants

培养基号	抗褐剂/% 活性炭	激素/mg · L ⁻¹			天然营养物质 100/mL · L ⁻¹ CW	种子愈伤组织 褐变率/%	小穗愈伤组织 褐变率/%
		2,4-D	KT	BA			
1	0.3	3	0.3			32.8	38.5
2	0.25	3	0.3		100	30.2	37.2
3	0.2	3	0.3		80	31.6	39.3
4	1	3	0.3		60	33.2	36.2
5	0.05	3	0.3	0.5		35.6	33.5
6	0.3	4	0.3			31.8	36.4
7	0.25	4	0.3		100	36.5	33.5
8	0.2	4	0.3		80	34.3	38.1
9	1	4	0.3		60	37.2	37.2
10	0.05	4	0.3	0.5		36.5	35.5
11	0.3	5	0.3			33.6	39.4
12	0.25	5	0.3		100	34.2	36.8
13	0.2	5	0.3		80	38.4	35.4
14	1	5	0.3		60	33.6	36.4
15	0.05	5	0.3	0.5		37.1	33.8

注: 褐变率为褐化组织出现的百分率 = 新出现褐化愈伤组织的接种材料数/接种材料总数 × 100%; 基本培养基均为MS + 25 g/L 蔗糖 + 6.5% 琼脂。BA 为6-苄基腺嘌呤; CW 为椰乳。

虽然及时切除黑褐部分,更新培养基,可在一定程度上保持愈伤组织有活力的部分,但增生部分与需切去部分相同,使愈伤组织长期增长不显著。为防止褐变,在培养基中加入吸附剂活性炭,可减轻褐变而不能完全控制褐变,且加入活性炭的各种培养基中,愈伤组织增生效果均不理想,可能是连续使用活性炭,在吸收酚类等有害物质的同时,也大量地吸收了对愈伤组织有用的成份,从而影响了愈伤组织的增生。愈伤组织生长不良,则更易于褐变。

表5中,巨龙竹两种外植体愈伤组织的诱导培养均在25~26℃暗条件下培养。因为在暗培养条件下,可使一些光诱导参与酚类合成和氧化的酶活性减弱,酚类合成减少,氧化物醌类也相应减少,使褐变得到一定程度的控制。

由于巨龙竹的小穗结构复杂,沾染的微生物也较多,所以试验中小穗的污染率比种子的污染率高。一般在小穗的基部开始出现黄色的絮状污染物,之后污染物会逐渐扩散,导致外植体死亡,或者小穗上出现白色的菌丝使小穗死亡。为小穗的愈伤组织诱导并开始变黄时需要立即接入新的培养基中,否则容易变褐死亡。最好等愈伤组织长大以后,再切断进行增殖培养,并可在同一培养基中放入多块愈伤组织,这样生长效果更好。

3 结语

(1) 巨龙竹种子、小穗外植体愈伤组织诱导结果表明:激素组合不同,巨龙竹愈伤组织的诱导率也有差异。在无2,4-D时不能诱导出愈伤组织;在2,4-D与KT的组合中,2,4-D(2~10 mg/L)+KT(0.2~1 mg/L)都能诱导出愈伤组织。不同外植体诱导其愈伤组织的培养基也不同,种子与小穗的最适培养基分别是3/4 MS+(3~5 mg/L) 2,4-D+0.3 mg/L KT、MS+3 mg/L 2,4-D+0.3 mg/L KT,其愈伤组织诱导率达100%(除去受污染及死亡的外植体),说明2,4-D是比较适合巨龙竹诱导愈伤组织的生长调节剂。

(2) 温度对愈伤组织的诱导有明显的影响。在低温条件下,诱导率低,生长较慢;高温下,诱导率较高,生长快。但高温下培养比低温下培养的褐化程度明显高,这是由于引起褐化的多酚氧化酶的活性在高温时较高有关。

(3) 光照也是影响巨龙竹愈伤组织诱导的一

个关键因素,因此选择合适光照对愈伤组织诱导极为重要。在暗培养条件下巨龙竹愈伤组织诱导率高,基本不褐化;由于光照可以增强多酚氧化酶的活性,光培养条件下愈伤组织诱导率高长势旺盛,但褐化严重。

综上所述,对于巨龙竹外植体诱导其愈伤组织产生的最适培养基,种子与小穗的分别是3/4 MS+(3~5 mg/L) 2,4-D+0.3 mg/L KT、MS+3 mg/L 2,4-D+0.3 mg/L KT。并置于25~26℃暗培养条件下,更有利于巨龙竹种子和小穗愈伤组织诱导,愈伤组织长势旺盛,褐化程度低,诱导周期短,愈伤组织诱导率达100%(除去受污染及死亡的外植体)。

参考文献:

- [1] Tseng T C, Liu F, Shaio S Y. Isolation of protoplasts from crop plants [J]. Bot. Bull. Acad. Sin., 1975(16):55-60.
- [2] Huang L C, Murashige T. Tissue culture investigation of bamboo I. Callus culture of *Bambusa*, *Phyllostachys* and *Sasa* [J]. Bot. Bull. Acad. Sin., 1983(24):31-52.
- [3] Rao I U, Rao IV R, Narang V, Somatic embryogenesis and regeneration of plants in the *Dendrocalamus strictus* [J]. Plant Cell Reports, 1985(4):191-194.
- [4] Teh, ML. And WC Chang Plant regeneration through somatic embryogenesis incallus culture of green bamboo (*Bambusa oldhamii* Munro) [J]. Theory Appl Genet, 1986(73):161-164.
- [5] Teh, ML. And WC Chang Somatic embryogenesis and subsequent plant regeneration from inflorescence of *Bambusa oldhamii* Munro var. *beecheana* [J]. Plant Cell Reports, 1986(5):409-411.
- [6] Huang L C, WL Chen and BL Huang Tissue culture investigations of bamboo. III. A method for viable protoplasts isolation from *Bambusa* cells of liquid suspension culture [J]. Bot. Bull. Acadmia Sinca, 1989(30):49-57.
- [7] Huang L C, WL Chen and BL Huang Tissue culture investigations of bamboo. IV. Organogenesis leading to adventitious shoots and plants in excised shoot apices. Invironmental and Experimental [J]. Botany, 1989(29):307-315.
- [8] Woody SH, GC Philips, JE Woods and GB Collins Somatic embryogenesis and plant regeneration from zygotic embryo explant in Mexico weeping bamboo *Oatea acuminata aztecorum* [J]. Plant Cell Reports, 1992(11):257-261.
- [9] Rout GR. Das P. Somatic emvryogenesis and in vitro flowering of 3 species of bamboo [J]. Plant Cell Reports, 1994,

13(12):683-686.

[10] Nadgauda, RS, VA Parasharami and AF Mascarenhas. Precocious flowering and seeding behaviour in tissue cultured bamboo[J]. Nature, 1990(31):29-34.

[11] Anes A, et al. Embryogenesis and plant development in the bamboo *Phyllostachys viridis* (Young) McClure[J]. Plant cell tissue organ culture, 1987,10(1):73-77.

[12] Chambers S M, et al. Micropropagation and in vitro flowering of the bamboo *Dendrocladus hamiltonii* Munro. Plant cell [J]. Tissue and Organ Culture, 1991(27):45-48.

[13] 阙国宁, 诸葛强. 竹子愈伤组织培养与植株再生

[J]. 竹子研究汇刊, 1991,10(4):79-80.

[14] 张光楚, 王裕霞. 麻竹离体快速繁殖技术的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1993,12(4):8-15.

[15] 陈锐亮, 杨振德. 壮绿竹茎段培养的初步研究[J]. 广西热科技, 1999,72(3):20-21.

[16] 余朝秀, 关文灵. 野百合组织培养的研究[J]. 西部林业科学, 2005,34(2):76-78.

[17] 杨玉珍, 雷 呈, 孙天洲, 等. 文心兰组织培养基激素选择及组培苗的移植管理技术[J]. 西部林业科学, 2004, 33(1):55-58.

[上接第60页]

参考文献:

[1] 张建平, 刘淑珍. 金沙江干热河谷区攀枝花市土地退化初探[J]. 中国沙漠, 1998,18(2):149-153.

[2] 郑 科, 郎南军, 郭玉红, 等. 元谋干热河谷降雨、温度、蒸发量的监测分析[J]. 西部林业科学, 2005,34(3):57-62.

[3] 叶仲节, 柴锡周. 浙江林业[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1980.

[4] 赵西宁, 吴发启. 土壤水分入渗的研究进展和评述[J]. 西北林学院学报, 2004,19(1):42-45.

[5] 解文艳, 樊贵盛. 土壤结构对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报, 2004,35(4):381-384.

[6] 何毓蓉, 黄成敏, 宫阿都, 等. 金沙江干热河谷典型区(云南)土壤退化机理研究—母质特性对土壤退化的影响[J]. 西南农业学报, 2001(14):9-13.

[7] 赵 琳, 郎南军, 温绍龙, 等. 云南干热河谷4种植物抗旱机理的研究[J]. 西部林业科学, 2006,35(2):9-16.