

毛桧种子萌发特性及幼苗生长规律研究

康永祥, 贡玉洁, 赵宝鑫, 陈 绵, 康 晋

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:对毛桧种子萌发及幼苗生长规律进行了研究,为种子的繁育提供理论依据。采用称重、测量、解剖、TTC法及内含物测定等方法,分别对不同种源地种子形态结构、活力、内含物含量进行测定,研究不同种源间种子萌发特性差异。采用低温层积、激素处理、不同基质处理相比较及定株观测的方法,研究解除种子休眠的有效技术及毛桧幼苗生长节律。结果表明:6个种源地间以陕西杨陵种源为最优种源,河南种质资源最差;陕西杨陵种源采用室外低温层积催芽效果最好,发芽率达46.7%(为直接播种的114倍);使用激素处理以 $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ GA}_3$ 的处理最为有效(发芽率达到48.43%);发芽基质以蛭石最好。毛桧幼苗2个生长高峰期分别为5月下旬到6月上旬和7月底到8月上旬。

关键词:毛桧;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:S732.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)03-0062-06

Seed Propagation Technique and Seedling Growth Regularity of *Cornus wateri*

KANG Yong-xiang, YUN Yu-jie, ZHAO Bao-xin, CHEN Mian, KANG Jin

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis for rapid propagation of *Cornus wateri*, the development rule of the seedling growth and seed germination were studied. The methods of weighing, seed diameter measurement, anatomy approaches, TTC and seed contents determination were applied to determine the seeds morphology structures, seeds vigor and nutrient contents to find the characteristic differences of the seed germination among the seeds from different provenances. The seeds were then treated by low temperature stratification, plant hormones, and the different matrixes to discover the optimal technique of seed dormancy and to observe the seedling growth-rhythm. The results indicated that the seeds from provenance of Yangling was the best among 6 locations, the provenance of Henan was the worst one. The seeds from Yangling got the best germination rate by low temperature stratification, accounting for 46.7%, 114 times more than that of directly sowing. The effective hormone concentration for breaking seed dormancy were $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of GA_3 , in which the germination rate was 48.43%. The vermiculite was the prime sprouting matrix. There were two peak periods in seedling growth at the last ten days of May to the first ten days of June, and the end of July to the first ten days of August, respectively.

Key words: *Cornus wateri*; seed bourgeon; growth

毛桧(*Cornus wateri*)又叫车梁木、黑棕子、油树,为山茱萸科桧木属落叶乔木,分布范围较广,但以山东、河南、山西、河北、陕西分布较多,辽宁、江苏

等省份亦有分布和栽培。核果球形,黑色。花期4—5月,果熟期8—10月^[1]。因其较高的经济价值和较高的园林价值,长期以来受到人们的青睐,尤其

是果肉和种仁丰富的油脂含量(果实含油率可达34%)^[2-4],是产区传统的食用油料树种^[5]。

毛栎果实分外、中、内3层果皮,其中,内果皮坚硬骨质,属于难发芽种子。对此,前人做了一些探索,如层积催芽,水浸催芽,化学试剂催芽^[6],其中,以河沙、蛭石等作为基质的低温层积方法应用较为广泛,另外,部分低温地区如宁夏曾对冰藏,雪藏^[7-8]等方法进行了尝试,而关于毛栎各种源地种子特性和休眠原因的研究尚属空白。为此,本研究在毛栎种子发芽试验的基础上,通过对种子萌发特性、不同种源种子萌发能力差异以及幼苗的生长规律研究,以期探讨影响毛栎种子发芽的主要因素,为毛栎能源林的培育提供技术支撑。

1 试验地自然条件

试验地位于陕西省杨陵区西北农林科技大学林学院苗圃试验基地,34.36°N、108.72°E。该地区年均温为10.7~13.7℃,最热月均温24~27℃,全年≥10℃积温为3400~4600℃,年降水量500~700 mm,有效生长期降水量为152~191 mm,无霜期184~216 d,全年日照1900~2500 h。

2 材料与方法

2.1 试验材料

种子材料来自陕西、河南、山西、山东、河北、江西等6个种源地的生长健壮、无病虫害的优良单株,选择完全成熟且饱满的果实作为播种材料,采种时间均于9月初至10月中旬,具体以各地种子成熟时间而定。种子采摘后,对其进行除杂、干燥(阴干),置于室内备用。

2.2 方法

2.2.1 不同种源地间种子形态指标测定 随机抽取毛栎6个种源地的果实各100粒,用电子天平称量毛栎果实百粒重(精度为0.0001 g);用游标卡尺测定毛栎的果实直径(精度为0.01 mm),每个种源选择30粒,重复3次;然后,对毛栎果实进行研磨脱皮处理,之后用天平称量毛栎种子的百粒重(精度为0.0001 g),用游标卡尺测定毛栎种子直径(精度为0.01 mm),每个种源也选择30粒,重复3次;其次,对毛栎种子进行剥壳处理,测定种壳的厚度(精度为0.01 mm),统计种子的空壳率,每个种源地30粒,重复3次;最后,称量种子百粒壳重和仁重,计算种子壳仁比,每个种源地重复3次。

2.2.2 种子活力测定 用氯化三苯基四氮唑法(TTC法)测定不同种源地种子生活力^[9]。

2.2.3 种子可溶性糖与可溶性蛋白质含量测定 以不同种源地间种子为供试材料,采用3,5-二硝基水杨酸比色法^[10]和考马斯亮蓝G-250染色法^[10]分别测定可溶性糖及可溶性蛋白的含量。

2.2.4 种子萌发

2.2.4.1 种子前期处理方法 毛栎果皮富含油脂,需进行去果皮处理。具体方法为:将果实用冷水浸泡1~2 d,之后与细沙混合并用砖块进行碾磨,直至种壳呈微红色,然后将脱皮种子用1%~1.5%的洗衣粉水浸种2~4 h,期间反复搓洗,最后阴干备用。

2.2.4.2 种子萌发试验 将种子材料分成未经处理种子、去壳种子、薄壳种子3种类型,各取90粒,分成3组,放入培养皿后置于恒温培养箱进行种子萌发试验。

2.2.4.3 种子休眠解除试验 沙藏处理:将去掉蜡质层的种子用清水浸泡7 d,每天换水1次,然后按照1:3比例与沙子混拌,分成2份,分别进行室外沙藏与0~4℃冰柜沙藏。

激素处理:将经过预处理的杨陵来源种子,分别浸泡在0、50、100、150、200、250 mg·L⁻¹6个浓度水平的赤霉素溶液中6 h,之后将浸泡过的种子沙藏于0~4℃冰柜,每组30粒,3个重复。

2.2.5 整地、播种及后期管理 播种前,进行机械深翻整地,深度要求30 cm以上。作床宽度1.2~1.5 m,长度20~30 m,整平、整细。

根据毛栎种子的萌发状况选择播种时间,一般为清明前后(4月3日—4月8日)。播种采用条播的方法,行距30 cm,沟深3~5 cm,种子撒播在沟穴后,用湿沙覆盖,厚度控制在2.0~2.5 cm。播种后,为了保持温度、湿度、防止土壤板结,覆盖草帘、锯末或塑料薄膜等材料,出苗后进行定期除草、浇水等后期管理工作。

2.2.6 幼苗观测方法 播种出苗后,随机选定100个单株,从5月底,每隔10 d观测记录苗高和地径,以了解毛栎苗木在苗圃地的生长规律。

2.2.7 数据处理 数据应用Excel2003和SPSS软件进行方差分析和多重比较。

3 结果与分析

3.1 不同产地种子特性

毛栎种子为球形(图1),胚及胚乳为白色,2室(图2)。根据不同产地毛栎果实及种子特性的均值对比(表1),各种源地在种子形态指标方面存在显著差异。其中,杨陵产的果实及种子百粒重均为最高,分别为21.32 g及8.21 g,河南卢氏来源的最低,分别

为 15.27 g 及 4.68 g。果实及种子重量差异最大的为河北井陉,相差 15.04 g,证明河北种源果肉较厚,含油率较高。种子直径以陕西杨陵种子最大(5.34 mm),而河南卢氏县最小(4.28 mm)。种子直径与种壳厚度的对比发现,河南产种子种壳最厚(0.89 mm),同时,其种子空壳率亦较高,达 34.67%,全仁率

较低,仅为 14.33%。壳仁比以河南卢氏的最高(12.09),陕西杨陵的最低(4.26)。由此可看出,陕西杨陵产种子最大,质量最好,空壳率最低,饱满度最高,而河南卢氏县种源种子质量最差。种子的优劣从高到低据种源地依次为陕西杨陵>山东庙子镇>山西阳城市>河北井陉市>江西九江市>河南卢氏县。



图 1 毛桉种子形态

Fig. 1 Morphology of the seed of *C. wateri*

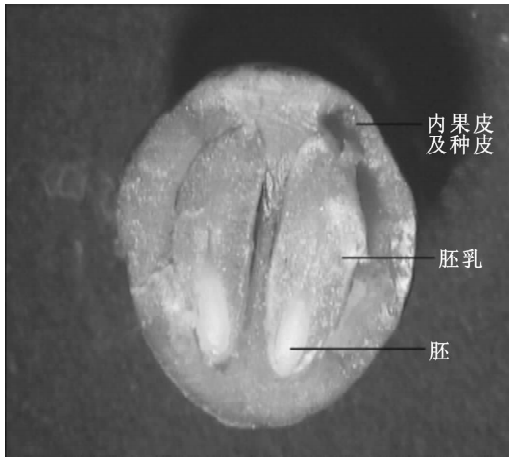


图 2 毛桉种子纵切面(×40)

Fig. 2 Longitudinal section for the seed of *C. wateri*(×40)

表 1 不同产地种子特性

Table 1 Seed shape in different producing areas

种源	果实 百粒重/g	种子 百粒重/g	果实 直径/mm	种子 直径/mm	种壳 厚度/mm	空壳率			壳仁比
						全空壳率/%	全仁率/%	半仁率/%	
陕西杨陵	21.32±5.216aA	8.21±0.119Aa	6.75±0.734Bb	5.34±0.486aA	0.83±0.186aAB	3.96±0.038bB	52.79±0.129aA	43.25±0.116dC	4.26±0.571dD
河南卢氏	15.27±1.566dD	4.68±0.148eE	6.24±0.530Cc	4.28±0.471dC	0.89±0.178aA	34.67±0.101aA	14.33±0.065cC	51.10±0.080cbC	12.09±1.827aA
山西阳城	19.48±4.029bB	5.43±0.086dD	6.75±0.612Bb	4.57±0.374cB	0.73±0.169bBC	10.16±0.056bB	23.60±0.050cC	66.24±0.055aA	6.12±1.271cC
山东庙子镇	15.34±4.171dD	5.75±0.132cC	6.75±0.612Bb	4.68±0.471bB	0.67±0.233bC	7.06±0.100bB	33.45±0.093bB	59.49±0.078abAB	4.50±1.210dD
河北井陉	20.90±2.281aA	5.86±0.022cC	7.020±0.512aA	4.54±0.285cB	0.74±0.156bBC	29.67±0.063aA	14.67±0.050cC	55.67±0.072bcB	9.31±1.235bB
江西庐山	17.47±2.412cC	6.76±0.214bB	6.79±0.217bB	5.02±0.421aAB	0.75±0.427bBC	29.08±0.076aA	13.00±0.082cC	57.92±0.072bcAB	9.33±1.413bB

注:表中不同大、小写字母分别代表 0.01、0.05 水平显著差异。

3.2 种子活力测定

通过对不同种源毛桉种子活力测定发现(图 3),经过不同处理 4 个月后,各地种子的生活力均有不同程度降低,其中,室温干藏的种子生活力下降趋势明显,平均生活力下降至 55.44%;低温沙藏毛桉种子活力保存较好,平均为 89.61%,与层积前种子相比其生活力仅下降了 2.69%。根据不同处理方式种子生活力表现的差异性,得出不同保存方式在种子生活力上由大到小的次序为:低温沙藏>低温干藏>室温干藏。由此可以看出,在湿润的低温沙藏环境能较高的维持毛桉种子的活力,而将种子干藏在室温环境下或低温里均不利于种子保存。

3.3 种子中可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量的测定

通过对低温层积过程中毛桉不同种源间种子可溶性糖含量的比较可知(图 4),毛桉种子在层积前可溶性糖含量在 2.28%~3.12%之间,最低的为山

西阳城的种子。在层积初期各种源地种子的可溶性糖都有短暂的上升过程,但是随着层积时间的延长,可溶性糖含量逐渐降低,而毛桉种子将萌发时可溶性糖含量又呈上升趋势,在层积 120 d 后种子的可溶性糖含量则变为 2.81%~3.25%。可溶性糖含量在层积过程中总体表现为高一低一高的变化趋势。相较于其他种源地种子,河南种子在层积 120 d 后含糖量没有增高反而下降为最低,仅为 2.57%,与其他种源地种子中的可溶性糖含量升高的变化趋势比较,说明河南种源种子脂肪物质积累较少,种子成熟度不高。

图 5 可以看出,毛桉种子在未进行层积前积累一定量的蛋白质,各种源地平均蛋白质的含量为 24.53 mg·g⁻¹,其中以山东庙子镇含量最高,可达 29.84 mg·g⁻¹。在低温层积 1~30 d 范围内,随着层积时间的延长,各种源毛桉种子可溶性蛋白含量都有不同程度的下降。当层积 30 d 后,毛桉种子中

的可溶性蛋白质含量又出现增加,在 90 d 时基本达到最大值,平均为 $31.61\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,而 90 d 左右正是种子胚进行分化的时期;当层积 120 d 时,毛柞种子可溶性蛋白呈下降趋势,这可能由于毛柞的种胚进入了快速生长期,需要消耗种子内大量贮藏的蛋白质,蛋白质含量下降,平均达到 $27.50\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,但仍高于最初的蛋白含量水平($24.53\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)。

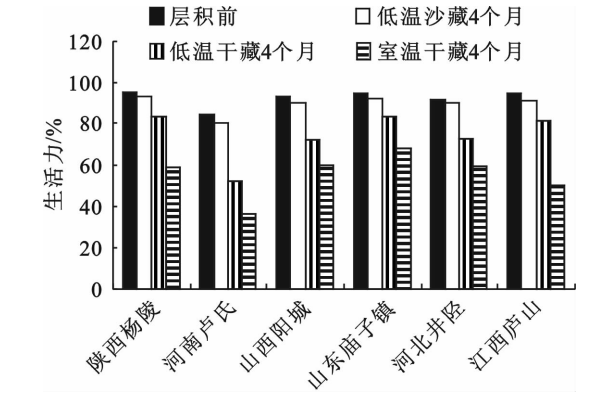


图 3 不同种源地种子沙藏前后生活力变化

Fig. 3 Changes of viability in different *C. wateri* seeds during postmaturation under different treatments

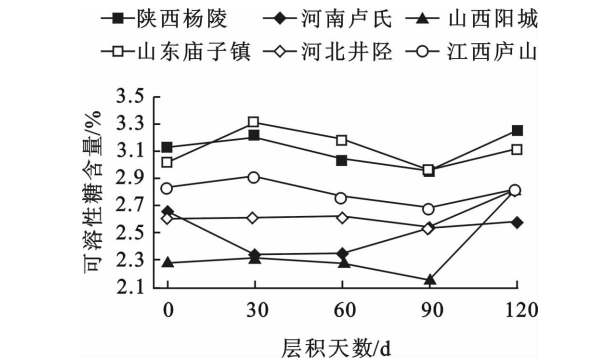


图 4 不同产地毛柞种子低温层积过程中可溶性糖含量的变化

Fig. 4 Soluble sugar content changes in the cold stratification of the seeds different provenances

不同种源毛柞种子在层积后种子的可溶性蛋白含量存在明显差异,杨陵种源的毛柞种子整体与种子蛋白质发芽过程中可溶性蛋白质的一般规律一致,在种子需要蛋白质时能够提供大量的积累,为种子萌发可提供足够的能量。山西阳城、山东庙子镇、江西庐山 3 个种源地间差异性较小,其中,山东庙子镇种子则是三者中蛋白质积累最快速的。河南卢氏种源种子中蛋白质含量没有明显的变化情况,一直维持在 $26\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,无明显的蛋白质消耗和累积,可能的原因是河南种源种子种壳太厚,沙藏 120 d 不足以使胚活动。

3.4 种子萌发试验

种子萌发试验发现,未经处理的种子、去掉种壳的种子及薄壳种子均未发芽,可见生理后熟现象是

毛柞种子难发芽的重要原因。因此,本研究主要针对毛柞种子的生理后熟特性,开展了解除种子休眠的相关试验。

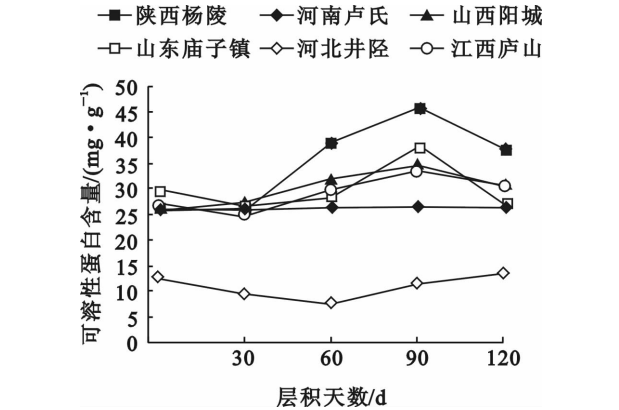


图 5 不同产地毛柞种子低温层积过程中可溶性蛋白含量的变化

Fig. 5 Soluble protein content changes in the cold stratification of the seeds from different provenances

3.5 解除种子休眠试验

3.5.1 不同种源地种子发芽比较 室外层积沙藏是毛柞种子催芽的有效方法,各种源地种子在不同沙藏方式下,其发芽能力存在显著差异。采用室外层积沙藏平均发芽率为 27.38%,采用室内冰柜沙藏发芽率为 22.79%,采用直接播种发芽率仅为 0.22%。采用室外层积方法平均发芽率明显高于采用冰柜沙藏,两者均明显高于直接播种法。在相同的处理条件下,不同的种源间又以陕西杨陵的种子发芽率最高,可达 42.41%,而河南卢氏种源的种子发芽率最低,为 2.61%。其他种源间的发芽率由高到底依次为陕西杨陵、山东庙子镇、山西阳城、河北井陉、江西庐山、河南卢氏(表 2)。

表 2 不同种源地在不同处理下对种子发芽率的影响

Table 2 Effects of different stratification treatments on the germination of the seeds from different provenances

种源地	冰柜层积沙藏/%	室外层积沙藏/%	直接播种/%
陕西杨陵	36.32aA	42.41aA	0.41aA
河南卢氏	1.40dC	2.61eE	0cC
山西阳城	23.85cB	30.64cBC	0.24abB
山东庙子镇	32.11bA	35.21bB	0.29bAB
河北井陉	21.87cB	28.12cdCD	0.21bB
江西庐山	21.20cB	25.31dD	0.21bB

注:不同大、小写字母表示在 0.01、0.05 水平差异显著。

3.5.2 激素处理种子发芽情况 采用单一种源(陕西杨陵),不同浓度 GA_3 浸种处理,低温层积沙藏 90~120 d。图 6 可以看出,各浓度 GA_3 处理与对照相比,种子的发芽率具明显的变化,其中以 GA_3 $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理最佳,发芽率可达到 48.43%。可见,毛柞种子不但具有生理后熟现象,而且还可能存在萌发抑制物质。

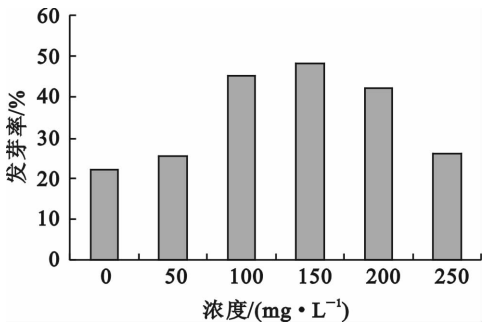


图 6 不同浓度赤霉素对毛柞种子发芽率的影响

Fig. 6 Effect of exogenous GA₃ on seed germination

3.5.3 不同基质对毛柞种子萌发的影响 不同育苗基质其通气与保水能力有所差异,其对种子萌发率的影响也不同。从表 3 可看出,采用不同基质与直接播种相比,发芽率有不同程度的升高,其中以蛭石效果最好,发芽率可达 41.23%。采用沙子及泥炭发芽率差异性不显著,分别为 36.32% 与 35.43%,但发芽时间相比,泥炭中发芽时间比沙子中提前 10 d。干藏种子的发芽率最低,仅为 0.12%。可见蛭石为适宜的低温层积基质。

表 3 不同基质处理对种子萌发的影响

Table 3 Effects of sowing matrix on seed germination

编号	基质	发芽时间/d	发芽率/%	出苗率/%
1	沙子	130cC	36.32bB	35.71bB
2	蛭石	120cC	41.23aA	39.26aA
3	泥炭	120cC	35.43bB	35.43bB
对照 1	干藏	150bB	0.12cC	0.10cC
对照 2	秋季直播	210aA	0.41cC	0.41cC

注:不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平差异显著。

3.6 毛柞苗木生长规律

毛柞种子 4 月 7 日播种,4 月 28 日种子萌发出土,到 10 月 30 日苗木当年生长基本结束,11 月 15 日左右进入休眠期。第 2 年苗木从 3 月下旬开始生长,到 10 月 30 日基本结束,11 月 15 日进入休眠期。2009 年 5 月 30 日,测量当年生定株的苗高和地径分别为 5.19 cm 和 2.4 mm,同年的 10 月 30 日苗高、地径停止生长后,其苗高为 101.11 cm,地径为 10.62 mm。第 2 年 10 月底,2 年生苗高平均可达 259.23 cm,地径 25.02 mm(图 7、图 8)。

1 年生苗初期生长量较小,从 6 月中旬开始苗高生长加快,7、8 月苗高生长出现高峰,此后生长量又逐渐减小,直至 11 月上旬高生长基本停止,表现出慢-快-慢的生长规律。2 年生苗在 4 月下旬出现生长高峰,其后苗木生长与 1 年生苗木生长状况类似,两个高峰期分别为 5 月下旬到 6 月上旬和 7 月底到 8 月上旬,但较 1 年生苗生长量相对平缓。6 月中下旬苗高生长速度降低,可能由于气候较干燥,

温度较高,造成苗木生长减慢。9 月中旬生长高峰期基本结束,10 月下旬苗高基本停止生长(图 9)。

2 年生毛柞苗地径在 4 月下旬出现生长高峰,随后生长速度减慢,在 7 月下旬至 8 月下旬再次出现高峰(图 10)。综合图 9 和图 10 可以看出,地径与苗高净生长量变化趋势基本相同,可认为二者为

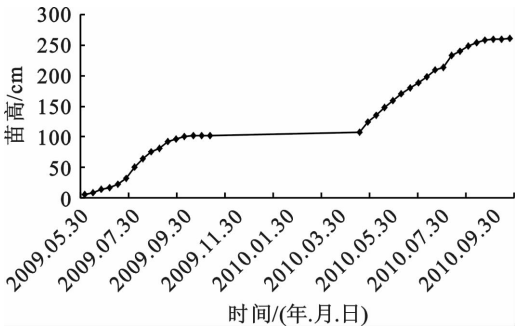


图 7 2 年生毛柞苗高生长规律

Fig. 7 Growth regularity of 2-year-old *Cornus wateri*

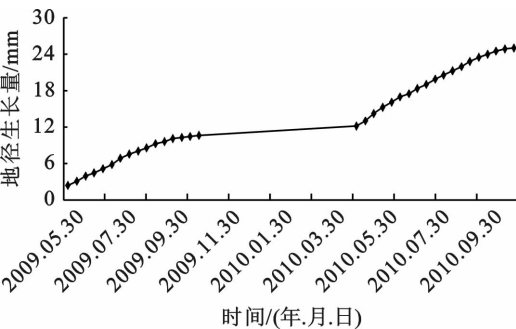


图 8 2 年生毛柞地径生长规律

Fig. 8 Growth regularity of 2-year-old *C. wateri* ground diameter

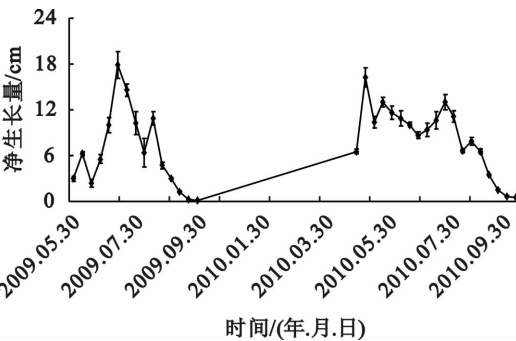


图 9 2 年生毛柞苗高净生长量

Fig. 9 Net growth of 2-year-old *C. wateri* seedling height

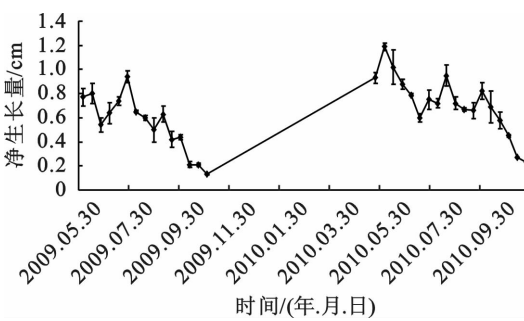


图 10 2 年生毛柞地径净生长量

Fig. 10 Net growth of 2-year-old *C. wateri* ground diameter

同步生长,而不同的是 2 年生苗与 1 年生苗地径和苗高净生长量变化趋势区别较为明显,其中 2 年生苗的生长高峰提前 25~30 d。

4 结论与讨论

4.1 毛栎种子不同种源间差异

通过 6 个种源地种子特性比较分析可知,种源地间均存在显著差异,其种子形态指标优良度依次为陕西杨陵>山东庙子镇>山西阳城>河北井陉>江西庐山>河南卢氏。杨陵种源较优的原因可能是由于该地采种母树选自行道树,树龄为结果盛期,具有较好的水肥条件,种子成熟度好,种仁饱满,而河南卢氏种源的采种母树来自于野生单株,其生长环境较差,所结种子空瘪粒较多,且成熟度较差。

对毛栎种子休眠解除的过程中内含物的含量测定发现,可溶性糖含量在种子低温层积结束时明显增加,且只有可溶性糖积累到一定程度,毛栎种子才能萌发^[11-12]。毛栎种子萌发前期,需要大量的可溶性蛋白供胚的发育,但当种子萌发时由于可溶性蛋白的消耗,其含量又有所下降。河南种源的种子蛋白质的积累及消耗并不明显,而陕西杨陵种源及山东种源地则较明显,反映了不同种源地种子生理后熟的差异,这与各种源地萌发试验结果一致。

4.2 种子休眠的原因及其解除方法

根据生活力及内含物的测定证实了毛栎种子为综合性休眠,不仅有种皮障碍的因素,更重要的是生理休眠^[13]。通过不同种源层积沙藏处理试验可以看出,采用室外低温层积沙藏效果最好,发芽率达 46.7%,其主要原因是由于低温可以促进种子生理后熟,打破种子内不同激素的平衡水平,进而达到解除种子休眠的作用^[14];另外,结合层积沙藏,GA₃ 对解除毛栎种子的休眠也有明显的作用^[15],可促进种子的萌发^[12],其发芽率可达 48.43%,该结果与四季报春及长柄扁桃的研究基本一致^[16-17]。

4.3 苗木生长规律

毛栎种子的播种时间为 4 月 5 日左右,4 月 28 日左右种子出苗。到 10 月 30 日苗木生长结束,11 月 15 日左右进入休眠期。其生长过程和其他苗木生长过程相似,在年生长周期中有 2 个生长高峰,第 1 次为 5 月下旬到 6 月上旬,第 2 次为 7 月底到 8 月上旬,这与火桐、任木、海南椴、白桂木等濒危树种幼苗的年生长变化节律基本相同^[18-20]。

参考文献:

[1] 任宪威. 树木学(北方本)[M]. 北京:中国林业出版社,1997: 375-376.

[2] 尹晖. 生物质能源树种棕子木的初步调查[J]. 河南林业科技, 2009,6(2):95-96.

[3] 夏小岗. 黑棕子栽培技术及经济价值研究[J]. 山西林业,2009 (3):19,40.

[4] 曲现婷. 优良乡土树种—车梁木[J]. 国土绿化,2004(2):36.

[5] 曲现婷,陈会利,张黎. 优良乡土树种—车梁木[J]. 河南林业, 2002(6):60.

[6] 王晓光,李蔚,刘先贵,等. 光皮栎木种子催芽技术研究[J]. 湖北林业科技,2007,146(4):26-28.
WANG X G, LI W LIU X G, *et al.* Study on seed germination technique for *Cornus wilsoniana* Wanager[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2007, 146(4):26-28. (in Chinese)

[7] 王华玺. 毛栎育苗技术[J]. 陕西农业科学,2009(4):223-224.

[8] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,1999.

[9] 王印肖,李秀文,管跃义. 快速测定林木种子生活力的方法一四哇法[J]. 河北林果研究,2000,15(增刊):117-118.

[10] 黄儒珠,郭祥泉,方兴添,等. 变温层积处理对南方红豆杉种子生理生化特性的影响[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2006,22(2): 95-98.
HUANG R Z, GUO X Q, FANG X T, *et al.* Effect of cold-warm-cold stratification treatment on physiological and biochemical characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* seeds [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2006, 22(2): 95-98. (in Chinese)

[11] 陈润政,周晓强,傅家瑞. 不同贮藏湿度对红麻种子活力一些生理生化的影响[J]. 种子,1989,3(41):5-7.

[12] 颜启传. 种子学[M]. 北京:中国农业出版社,2001.

[13] 于卓,王林和. 三种沙拐枣种子休眠原因研究初报[J]. 西北林学院学报,1998,13(3):9-13.
YU Z, WANG L H. Causes of seed dormancy of three species of *Calligonum*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1998,13(3):9-13. (in Chinese)

[14] 郑光华,史忠礼,赵同芳,等. 实用种子生理学[M]. 北京:农业出版社,1990:167-171.

[15] REKHA K, SUBEDAR P, SANJOY C, *et al.* GA₃ induced changes in slow growing endangered Himalayan plant *Podophyllum hexandrum* and hastening of vegetative growth[J]. Plant Growth Regul., 2007,51(3):207-215.

[16] 张晓曼,孙晓光,杜绍华,等. 四季报春种子萌芽生物学特性研究[J]. 西北林学院学,2009,24(5): 85-87.
ZHANG X M, SUN X G, DU S H, *et al.* Biological characteristics of seeds germination in *Primula obconica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(5):85-87. (in Chinese)

[17] 张檀,郑瑞杰,梅立新,等. 长柄扁桃种子萌发特性的研究[J]. 西北林学院学报,2006, 21(4): 73-76.
ZHANG T, ZHEN R J, MEI L X, *et al.* Germination characters of the seeds of the *Amygdalus pedunculata* Pall[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(4): 73-76. (in Chinese)

[18] 骆文华,黄仕训,李瑞棠,等. 不同栽培基质对石山濒危植物苗期生长的影响[J]. 农村生态环境,2001, 17(4):12-16