

“正态分布标准差分类法”对杉木养分供求响应的研究

郭祥泉

(三明市林业局,福建 三明 365000)

摘要:通过对杉木树高生长呈“正态分布”的林分,应用“正态分布”标准差作为不同个体生长类型划分临界值,对林分不同生长个体进行分类,探讨不同个体生长类型的年生长量对养分供应的影响。结果表明,杉木树高生长表现类型好的个体,表现更强耐瘠薄能力,树高生长表现类型差的个体,在养分能满足高生长需求量时,同样也有良好的树高年生长量。不同生长表现类型的胸径年生长量对养分供求响应,表明胸径生长表现类型好的个体在养分供应不足时,个体胸径年生长量也不会高,养分充足时胸径年生长量大;生长表现类型差的个体在养分供应不足时,个体胸径年生长量低,而养分供应充足时,个体胸径年生长量接近生长遗传表型好的个体年生长量。该研究揭示杉木不同生长表现类型树高、胸径年生长适应性机理和对养分供应的响应,这对杉木低产林分改良和提高杉木经营水平及林分大径材培育中目标树的选择可提供理论参考。

关键词:杉木;正态分布标准差分类法;优良种源;生长类型;施肥处理

中图分类号:S791.27 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)05-0132-06

Application of Standard Deviation Classification Method of Normal Distribution to the Response of *Cunninghamia lanceolata* for the Nutrient Supply

GUO Xiang-quan

(Sanming Forest Bureau, Sanming, Fujian 365000, China)

Abstract: Taking the *Cunninghamia lanceolata* stands which presented normal distribution in height growth as research objects, the standard deviation of normal distribution was regarded as the critical index to classify the growth type of individual trees, and to examine the influence of annual growth of the different growth types on nutrient supply. The results indicated that the good height growth group presented stronger adaptability to barren soil, the poor height growth group also showed satisfactory annual height growth when the nutrients were sufficient enough to the height growth. The response of the annual breast-diameter (BD) growth of different growth types for the nutrient supply indicated that the BD annual growth of the good growth group was smaller under insufficient nutrient supply and was higher under the sufficient supply, and the BD annual growth of the inferior growth group was lower under insufficient supply. But the BD annual growth of the inferior growth-group was close to the annual growth of the good growth group under sufficient supply, indicating that the adaptability mechanism and response of the annual height growth and annual BD growth of different growth types. The results would provide theoretical references for improving the existing stands of low-yield *C. lanceolata* and management of the stands, as well as for cultivating big diameter trees.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*; normal distribution standard deviation classification; advanced generation provenance; growth-type; fertilizing treatment

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方主要推广造林树种之一,在杉木栽植区主要以杉木为造林树种,且许多Ⅲ类及以上立地类型也栽植该树种,造成林地生产力不高,有许多林分到中龄林以后生长量变得很低或趋于停滞,成为低产林或小老林^[1-2]。对于现有杉木低产林与小老林,经营者与专家学者主要观点是采用采伐重造措施,事实上因立地质量差,许多重新造林的林分依然生长较低。该措施既影响投资经营效益又浪费林地使用,延长林分经营周期,降低森林资源供应能力与森林生态的综合功能^[3]。如何通过经营措施来提高现有杉木低产林分生产力是当前生产经营者们迫切需求。马常耕^[4]、赵承开^[5]、马祥庆^[6]等筛选了杉木不同优良基因型;许中坤^[7]、何宗明^[8]、张建国^[9]等探讨了不同养分措施对杉木生长适应性影响,胡厚臻^[10]等探讨了施肥对杉木生长的影响,以期提高杉木经营水平,有研究^[11-12]对杉木良种子代生长适应性研究表明,杉木良种子代能更好适应较贫瘠立地。但杉木良种子代都将发生遗传分化,胸径与树高生长表现为正态分布的遗传分化,表现出遗传多样性,且不同个体生长对不同立地类型表现生长适应性差异^[2],尚未有人对杉木不同生长类型个体对养分适应性进行研究,在杉木高效经营与低产林分改造还缺乏相关理论依据。本文试图从杉木二代半种子园自由授粉的子代不同生长类型对养分供求响应,探讨不同生长类型在较瘠薄立地条件下不同养分供应量对杉木树高、胸径年生长效果,以期揭示杉木对养分需求的反应,通过人工养分补给措施激发杉木个体在较贫瘠立地的生长潜能,提高林分在较瘠薄立地栽植的生长量,为杉木低产林分改培提供理论参考。

表 1 试验前林分土壤主要养分状况

项目	样点					
	1	2	3	4	5	6
有机质%	2.135	2.324	2.089	2.178	2.221	2.152
碱解 N	97.3	102.2	96.3	98.1	100.6	98.1
速效 P	13.2	14.3	12.5	13.6	13.9	13.7
速效 K	105.3	110.1	102.3	106.8	108.4	106.2

注:在试验地随机分布取 6 个样点,每样点 3 重复取平均值。

2 试验设计与处理

2.1 试验设计

树高生长不同生长类型 4 年生林分施肥试验按随机区组设计,分 3 个处理和 1 个对照,每个处理按 3 个重复,根据随机排序,对照设置于处理间,每 100 株为一处理小区,试验处理小区为林分中连续个体,即为连续性分布的多种遗传类型个体,按试验处理

1 试验材料

1.1 试验地区域气候条件

试验地海拔 350~500 m,分布在福建明溪县国有林场,位于 116°37′—117°35′E、26°8′—26°39′N,为武夷山脉东南延伸的丘陵、低山地带。属于中亚热带季风气候,年均气温 16~19℃,极端最高温 40℃,极端最低温-11℃,年均降水量 1 500~1 800 mm。土壤以红壤为主,土层深厚。区域内冬季时间较短夏季较长,气候温和,雨量充沛,温暖湿润,自然条件优越,是杉木的中心产区。

1.2 试验地概况

试验地具体设置在明溪国有林场狗谷岭工区 32 林班 2 小班,面积 11.53 hm²,海拔 350~500 m,为丘陵全坡,在全坡下部立地属于Ⅱ类立地类型,土层厚度>100 cm;在中部坡位,立地土层厚度 30~50 cm,沙壤土,属于Ⅲ类立地类型;在上部坡位及山顶,立地土层厚度<30 cm,山顶许多立地为未完全分化的石质土壤,属于Ⅲ类以上立地类型。试验造林所用苗木为福建省官庄国有林场杉木二代半种子园自由授粉的子代实生合格苗,整地规格为 60 cm×60 cm×40 cm,株行距约为 2 m×2 m,密度约 2 500 株/hm²;基肥为复合肥(尿素与复合肥为福建省永安市智胜化工厂生产的),每穴 0.25 kg,于 2009 年 2 月栽植,幼树每年锄草培土抚育 2 次,试验期林分为 4 年生,该试验小区设置于该林分全坡中上部,土壤为砂壤土,土层厚度≤50 cm,有机质含量低,施肥前林分叶色表现偏黄,施肥前土壤主要养分如表 1。

小区林分对试验单株进行挂牌编号,肥料设置分别为尿素+复合肥(比例为 1:1),按 0.25 kg/株(下称 A 处理)、施 0.50 kg/株(下称 B 处理)、施 0.75 kg/株(下称 C 处理);以不施肥为对照(CK),2012 年 3 月 25 日进行施肥试验,2013 年 1 月 28 日调查试验效果^[13]。

2.2 试验调查处理

施肥前对不同处理重复小区幼树的胸径、树高

生长进行按序号调查记录。不同施肥处理后,经 1 个年度的生长期,按各试验小区的单株序号调查处理后各单株胸径、树高,计算胸径、树高施肥后年度生长量。

2.3 研究与处理方法

2.3.1 研究方法 林木胸径和树高生长是由多基因控制,根据林木基因重组与环境共同作用结果,子代生长分化呈现连续的正态分布,连续的正态分布包含多种不同遗传生长类型,为了更好地说明群体中不同生长类型个体生长适应性,对群体不同遗传生长类型进行分类,以便更好说明不同生长类型对立地的适应性^[3-6,14]。根据林木胸径、树高生长正态分布规律,按群体标准差作为不同生长类型划分临界值,对林分不同生长个体进行分类,应用所划分的不同生长类型对个体年生长反应进行分析。该分类方法以树高生长为因子,采用试验前所有参试个体树高(H)进行统计处理,计算群体的树高生长的标准差与平均数。根据林木树高生长性状为正态分布,划分为 \bar{H} 、 $\bar{H} \pm \sigma$ 、 $\bar{H} \pm 2\sigma$ 、 $\bar{H} \pm 3\sigma$ 及 $\bar{H} \pm 3\sigma$ 以外特别变异个体区间。在实际栽植中,处于平均值的生长应为一个群体区间分布,本试验以 $\bar{H} \pm 1/2\sigma$ 作为平均值生长类型,其他以此类推分别为 $\bar{H} \pm 1/2\sigma - 3\sigma$ 、 $\bar{H} \pm 1/2\sigma - 2\sigma$ 、 $\bar{H} \pm 1/2\sigma - \sigma$ 、 $\bar{H} \pm 1/2\sigma + \sigma$ 、 $\bar{H} \pm 1/2\sigma + 2\sigma$ 、 $\bar{H} \pm 1/2\sigma + 3\sigma$ 生长区间作为同一群体不同生长类型^[13-15]。该分类方法能较为科学地将群体的不同生长类型归类,按所划分类型能较好说明研究结果,将该分类方法称作“正态分布标准差分类法”,该方法与前人研究的多基因性状子代分化比例基本一致,说明划分方法具有理论依据与科学性。

2.3.2 数据处理 依据上方法,本试验群体林分经计算,平均树高为 2.60 m,方差为 0.376 8,标准差为 0.60,1/2 标准差为 0.3。根据上述划分方法,树高不同生长类型划分为 1.7 m 以下树高(下称类型 1 或 G1)、1.7~2.3 m 区间树高(下称类型 2 或 G2)、2.3~2.9 m 区间树高(下称类型 3 或 G3)、2.9~3.5 m 区间树高(下称类型 4 或 G4)、3.5~4.1 m 区间树高(下称类型 5 或 G5)。根据前人研究,胸径生长与树高存在一定线性关系,树高生长与胸径生长相互关联,所以本文对胸径生长量研究是以个体树高相对应的生长类型进行归类,以说明同一生长类型胸径生长的施肥效应。试验林分经计算,平均胸径为 2.8 cm,方差为 1.2,标准差为 1.1,1/2 标准差为 0.6。

根据生长量调查结果,树高同一生长类型的不同单株当年生长量不一致。为了更好探讨个体与群体树高当年生长,对同一生长类型年高生长量分区进行归类统计。根据统计学误差来源,标准差内

属于误差范围,以上述树高标准差作为树高生长区间间距。根据同一生长类型个体年高生长量,生长区间划分为 0.2~0.5 区间(下称 H1)、0.5~0.8 区间(下称 H2)、0.8~1.1 区间(下称 H3)、1.1~1.4 区间(下称 H4)、1.4~1.7 区间(下称 H5)、1.7~2.0 区间(下称 H6)、2.0 以上(下称 H7),按同一生长类型树高年生长在不同区间分布数归类统计。同样以上述胸径标准差作为胸径生长区间间距,根据同一生长类型个体胸径生长量,生长区间划分为 0~0.6 区间(下称 B1)、0.6~1.2 区间(下称 B2)、1.2~1.8 区间(下称 B3)、1.8~2.4 区间(下称 B4)、2.4~3.0 区间(下称 B5)、3.0~3.6 区间(下称 B6)、3.6 以上(下称 B7),然后统计同一生长类型胸径生长在不同区间分布数。

3 结果与分析

3.1 林分生长类型划分与分布

根据上述试验林分设计,参试个体为 1 200,属于大样本群体试验,能较科学反应林分的生长类型分布。由上述生长类型分类,树高生长类型分为 G1、G2、G3、G4、G5,分化权重分别为 71、314、406、319、90 株,占群体比例分别为 5.9%、26.2%、33.8%、26.6%、7.5%,群体分化比例与前人研究趋于一致,呈正态分布。与前人研究的多基因重组子代分化比例趋于一致,说明不同生长类型分类方法具有理论依据与科学性,适宜宏观实践操作^[14-15]。整个群体都分布在 3 σ 标准差以内,未发现 3 σ 以外的突变个体。

3.2 同一处理对不同生长遗传表型树高生长响应

从图 1~图 4 可知,不同生长类型 G1、G2、G3、G4、G5 在同一养分供应处理下,同一生长类型群体树高年生长量表现为正态或近正态分布,趋向于平均值,同一生长类型群体生长平均值应是同一类型遗传作用的结果,年生长量偏离平均值的生长表现应属于环境作用,所以同一类型平均值可以作为同一类型遗传表现。不同生长类型经施肥处理后,树高年生长量由图 1~图 4 可知,生长类型由 G1、G2、G3、G4 到 G5 由差到好,树高年生长量重心也逐渐右移,即同一群体平均值提高,遗传表现值提高,表明在瘠薄立地条件下,生长类型越好,对立地适应能力越强。当施肥处理由 CK、A、B 到 C 时,随着施肥量的增加,生长类型差的个体树高年生长量增加量大,当施肥量达到 C 处理水平,G1、G2、G3、G4、G5 生长类型个体树高年生长量基本趋于一致,这表明杉木个体树高年生长量对养分供应有密切关系,生长类型差的个体在养分充足的条件下同样有较好的

树高年生长量,也说明了当养分达到一定程度时,树高年生长量增加量不大。由 CK(对照)处理的树高年生长量可知,杉木良种子代有较好的耐瘠薄特性,树高年生长有较好潜力,而良种子代的不同生长类型对养分供求反应表现不同,生长类型好的个体在瘠薄立地表现更适宜的生长。从这一研究可以说明,当施肥量达到杉木树高生长需求量,树高年生长量良好,也说明了在瘠薄立地或是说在Ⅲ类及以上立地,采用杉木良种造林有更好的树高年生长量。当养分供应不足时,可以通过施肥措施保持林分的速生特性,该研究对杉木低产林分改良与瘠薄立地或是说在Ⅲ类及以上立地造林具有理论指导价值。

3.3 同一遗传组合对不同施肥处理树高生长响应

杉木 G1、G2、G3、G4、G5 生长类型经 CK、A、B、C 施肥处理,个体树高年生长量从图 5~图 9 可知,不同施肥处理对同一生长类型树高年生长量随着施肥量的增加重心逐渐右移,由图 5、图 6 可明显

看出,生长类型较差的个体对养分反应更敏感,大的施肥量能显著提高个体树高的年生长量,而由图 7~图 9 可知,生长类型好的个体对养分反应较为平缓,当土壤中养分供应达到个体生长需求时,不同生长类型树高年生长量趋向于相近平均值。由图 1~图 9 可知,树高年生长量群体平均值处于 H4~H5 区间。由图 9 可知,就是最好的生长类型经本试验最大量的施肥处理,个体的树高年生长量也趋向于相近平均值,少数个体的树高年生长量在 H7 水平。生长类型好的个体,树高年生长量大的所占比例大,所以群体的平均生长量相对更高。由不同生长类型对施肥处理响应结果表明,生长类型越好,表现较好的耐瘠薄能力,生长类型差的个体对养分供应反应较敏感,耐瘠薄能力较差,在瘠薄立地条件下生长不良。该研究揭示杉木不同生长类型耐瘠薄能力,与良种栽植生长表现相一致,这可为杉木耐瘠薄-速生良种筛选、栽植、经营提供理论参考。

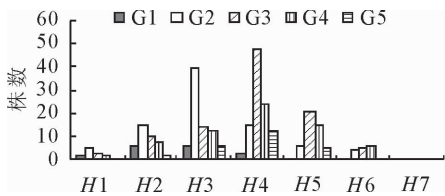


图 1 不同遗传类型对 CK 高生长响应

Fig. 1 The H-growth responses of the different genotypes for CK treatment

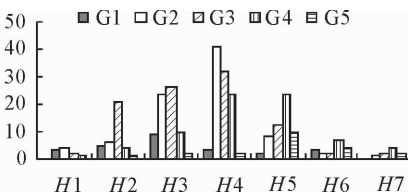


图 2 不同遗传类型对 A 处理高生长响应

Fig. 2 The H-growth response of the different genotypes for the A treatment

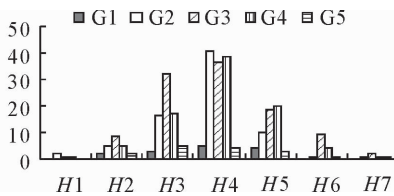


图 3 不同遗传类型对 B 处理高生长响应

Fig. 3 The H-growth response of the differet genotypes for the B treatment

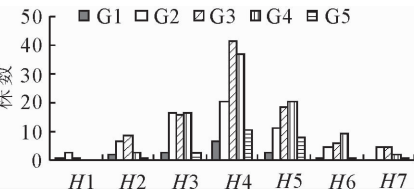


图 4 不同遗传类型对 C 处理高生长响应

Fig. 4 The H-growth responses of the different genotypes for C treatment

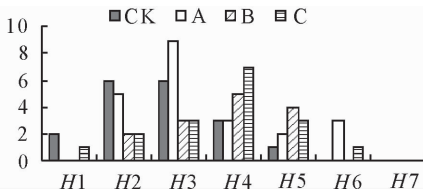


图 5 G1 类型对不同施肥处理高生长响应

Fig. 5 The H-growth response of G1 genotypes for the different treatment of fertility

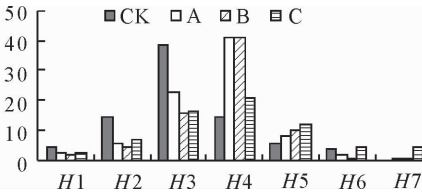


图 6 G2 类型对不同施肥处理高生长响应

Fig. 6 The H-growth response of G2 genotypes for the different treatment of fertility

3.4 同一处理对不同生长遗传表型胸径生长响应

胸径与树高生长在林木生长过程表现一定的相关性,通常在中幼期,高径比较大,随着林分年龄的增大,高径比逐渐缩小,而后在一段时期内保持在一个相对稳定值。由图 10~图 13 可知,杉木不同生长类型胸径年生长量同树高年生长量表现基本一致,同一生长类型群体的胸径年生长量也表现为正态分布或近正态分布,每一群体年生长量总体趋于平均值。由图 10(CK)可知,在养分供应相对不足时,生长类型好的个体比生长类型差的个体有更好

的胸径年生长量,当施肥处理由 CK、A、B 到 C 变化时,由图 10~图 13 可知,随着施肥量的变化,各不同生长类型胸径年生长量都不同程度的增加,生长类型差的比生长类型好的对施肥量表现更敏感,年生长量增加量更大,这与树高年生长量表现基本一致。表明生长遗传表型差的群体在养分充足的条件下,胸径年生长量也能实现较好表现,当养分达到一定程度时,胸径年生长量增加量有限,胸径生长量主要是通过树高与冠幅生长来实现。

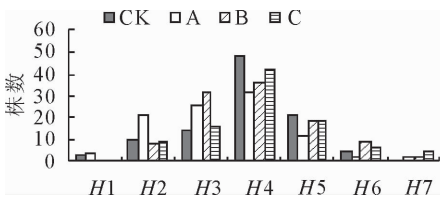


图 7 G3 类型对不同施肥处理的
高生长响应

Fig. 7 The H-growth response of G3
genotypes for the different
treatment of fertility

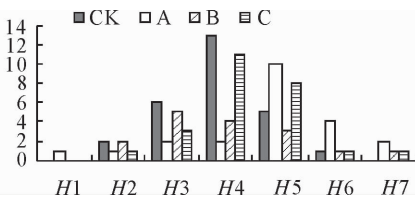


图 8 G4 类型对不同施肥处理的
胸径生长响应

Fig. 8 The H-growth response of G4
genotypes for the different
treatment offertility

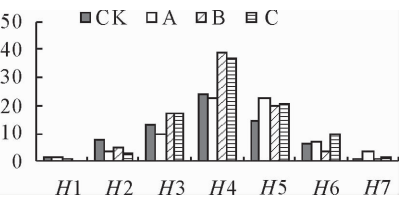


图 9 G5 类型对不同施肥处理
高生长响应

Fig. 9 The H-growth response of G5
genotypes for the different
treatment of fertility

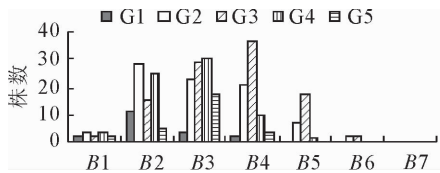


图 10 不同遗传类型对 CK 处理
胸径生长响应

Fig. 10 The BD-growth response of the
different genotypes for CK treatment

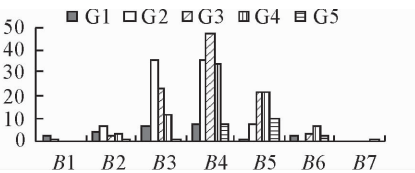


图 11 不同遗传类型对 A 处理
胸径生长响应

Fig. 11 The BD-growth response of the
different genotypes for A treatment

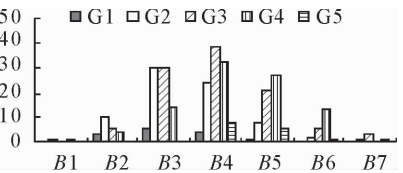


图 12 不同遗传类型对 B 处理
胸径生长响应

Fig. 12 The BD-growthe response of the
different genotypes for the B treatment

3.5 不同处理对同一生长遗传表型胸径生长响应

由图 14 可得知,杉木生长类型 G1 对 CK、A、B、C 施肥处理后,年胸径生长量表现出明显差异效果,表明生长类型 G1 年胸径生长量对养分反应敏感,随着养分供应量增加,胸径年生长量得到很大的提高。由图 14~图 18 胸径年生长量变化可知,从 G1、G2、G3、G4 到 G5 生长类型经 CK、A、B、C 施肥处理,随着生长类型由差到好,在养分供应不足时如 (CK) 处理,胸径年生长量比较小,而随着养分供应

量加大,胸径年生长量得到较大增加,表明胸径年生长量对养分供应反应更敏感。如图 18 的生长类型 G5 个体在养分供应不足时,个体胸径年生长量也不会高。试验结果表明施肥效果比生长类型对胸径年生长量有更大的贡献值,生长类型好的个体在适宜的养分供应条件,才会有较好的胸径年生长量。这可能因胸径生长是由冠幅光合作用积累的结果,施肥能提高光合效能,增加净光合效能,从而提高胸径年生长量。

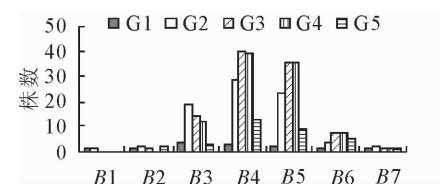


图 13 不同遗传类型对 C 处理
胸径生长响应

Fig. 13 The BD-growth response of the
different genotypes for C treatment

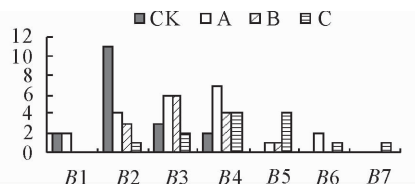


图 14 G1 类型对不同施肥处理
胸径生长响应

Fig. 14 The BD-growth response of the
G1 genotypes for the different fertility

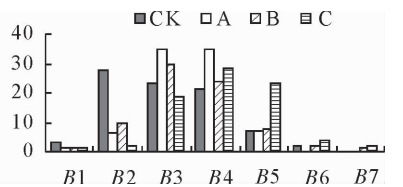


图 15 G2 类型对不同施肥处理
胸径生长响应

Fig. 15 The BD-growth response of the
G2 genotypes for the different fertility

4 结论与讨论

杉木在南方森林资源中占很大比例,目前杉木人工林因有的未使用良种、经营模式与适地适树等问题,导致杉木现有林分存在很大比例的低产林与小老林,许多林分生产量亟待提高。至目前为止未有学者提出适宜的理论来解决杉木低产林分,主要是采用采伐改造其他树种措施,造成大量投资失败与林地浪费,延长林地经营周期长,不利于森林资源

培育^[1]。利用现有林分生长势,通过经营措施激发与恢复现有林分生长潜力,可以有效提高林分生长量,减少经营投资,缩短林分的经营年限。本研究利用“正态分布标准差分类法”揭示不同生长类型对养分需求的响应。

1)应用杉木林分树高生长群体遗传表型分化呈正态分布规律和多基因重组子代分化理论,利用正态分布标准差作为不同正态分布分类临界值,该分类方法结果与前人研究的多基因重组子代分化比例

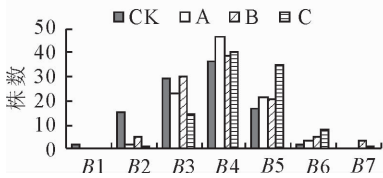


图 16 G3 类型对不同施肥处理
胸径生长响应

Fig. 16 The BD-growth response of G3 genotype for the different fertility

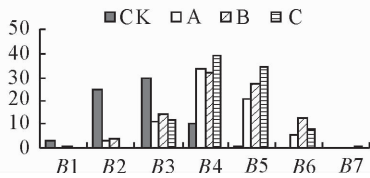


图 17 G4 类型对不同施肥处理
胸径生长响应

Fig. 17 The BD-growth response of G4 genotype for the different fertility

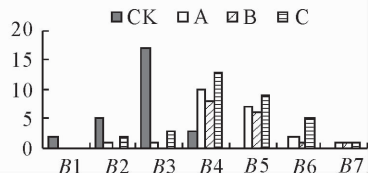


图 18 G5 类型对不同施肥处理
胸径生长响应

Fig. 18 The BD-growth response of G5 genotype for the different fertility

趋于一致,说明树高正态分布宏观划分方法具有理论依据与科学性,把该方法称作“正态分布标准差分类法”^[14-15]。该分类的生长类型是遗传与环境作用共同结果,依据该分类方法分别对 G1、G2、G3、G4、G5 类型个体年生长量表现进行探讨,由同一群体年生长量分布表明同一生长类型群体生长平均值应是同一类型遗传作用的结果,年生长量偏离平均值的生长表现应属于环境作用,所以同一类型平均值可以作为同一生长类型表现^[14-16]。该方法适用于林木树高生长生长类型划分,对林木遗传多样性研究、低产林分改良和大径材目标树的选择具有理论参考价值。

2)杉木不同生长类型施肥处理后树高年生长量表明生长类型越好,具有更好耐瘠薄能力,生长类型差的在养分充足的条件下也有较好的树高年生长量,且当养分达到一定程度时,树高年生长量趋于群体平均值。该研究表明杉木优良生长类型能较好适应瘠薄立地,这与杉木良好子代生长表现相一致,而对生长差的林分可以通过施肥处理激发与恢复林分生长潜力,揭示杉木不同生长类型对养分供应的反应,提出瘠薄立地或是在Ⅲ类及以上立地的低产林分生长改良与提升措施。

3)胸径年生长量在养分供应相对不足时,生长类型好的比生长类型差的有更好的胸径年生长量,随着施肥量的增加,生长类型差的个体表现对施肥量敏感,生长增加量高于生长类型好的个体,与树高生长表现基本一致。胸径生长由树高与冠幅通过光合作用表现,树高与冠幅生长量大,光合效能高,胸径生长表现大,所以生长类型好的,养分利用率高,表现更好的耐瘠薄能力,有更好的光合效能,这与树高生长表现相一致。

参考文献:

[1] 俞新妥. 杉木栽培学[M]. 福州:福建省科学技术出版社,1997: 172-240.
[2] 郭祥泉,吴成忠,郭祥堆,等. 用“t”检验选择法筛选杉木优良种源子代耐瘠薄优株[J]. 西南林业大学学报,2013,33(2):7-13.
GUO X Q, WU C Z, GUO X D, et al. Selection of elite infertility tolerant progeny from superior *Cunninghamia lanceolata* prove-

nances with “t” determination principle[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2013, 33(2): 7-13. (in Chinese)
[3] 廖世水. 高世代杉木种源在不同立地条件下的生长适应性[J]. 亚热带植物科学, 2011, 40(3): 72-88.
LIAO S S. Growth adaptability of *Cunninghamia lanceolata* of advanced generation provenance in different site conditions[J]. Subtropical Plant Science, 2011, 40(3): 72-88. (in Chinese)
[4] 马常耕, 周天相, 徐金良. 杉木无性系生长的遗传控制和早期选择初探[J]. 林业科学, 2000, 36(Supp. 1): 62-69.
MA C G, ZHOU T X, XU J L. A preliminary study on genetic control of growth traits and early selection of Chinese fir clones (*Cunninghamia lanceolata* Hook) [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(Supp. 1): 62-69. (in Chinese)
[5] 赵承开. 杉木优良无性系早期选择年龄和增益[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 53-60.
ZHAO C K. A study on optimum age and gain for early selection of superior clones in *Cunninghamia lanceolata* Hook [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(2): 53-60. (in Chinese)
[6] 马祥庆, 刘爱琴, 黄宝龙, 等. 氮素高效基因型杉木无性系的选择研究[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 53-57.
MA X Q, LIU A Q, HUANG B L, et al. Study on selection of high nitrogen-efficiency genotypes of Chinese fir clones[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(6): 53-57. (in Chinese)
[7] 许忠坤, 徐清乾. 杉木速生、耐瘠薄营养高效型无性系选育技术[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 25(6): 1-6.
XU Z K, XU Q Q. Clonal selection and culture of fast-growing, low-nutritional Chinese fir[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 25(6): 1-6. (in Chinese)
[8] 何宗明, 范少辉, 卢镜铭, 等. 立地管理措施对 2 代 6 年生杉木林生长的影响[J]. 林业科学, 2006, 42(11): 47-51.
HE Z M, FAN S H, LU J M, et al. Effect of site management treatments on growth of 6-years-old second rotation Chinese fir plantations [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(11): 47-51. (in Chinese)
[9] 张建国, 盛炜彤, 熊有强, 等. 施肥对盆栽杉木苗土壤养分含量的影响[J]. 林业科学, 2006, 42(4): 44-50.
ZHANG J G, SHENG W T, XIONG Y Q, et al. Study on relationship between nutrition balance and allocation of photosynthetic products in seeding of Chinese fir [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(3): 37-44. (in Chinese)

[J]. Journal of Northwest Forestry University,1991,6(1):28-32. (in Chinese)

[5] 周嘉熹,唐明,孜那提古丽,等. 黄斑星天牛幼虫期致病菌的研究[J]. 西北林学院学报,1992,7(3):7-11
ZHOU J X,TANG M,GULI Z N T,*et al.* Infection by fungi on larvae of *Anoplophora nobilisbricious* ganglbauer [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1992, 7 (3): 7-11. (in Chinese)

[6] MACLEOD D M. Investigations on the genera *Beauveria* Vuill. and *Tritirachium* L. [J]. Canadian Journal of Botany, 1954,32:818-890.

[7] 李增智. 球孢白僵菌昆虫寄主名录[M]//中国虫生真菌研究与应用(第一卷). 北京:学术期刊出版社,1988.

[8] 农向群. 布氏白僵菌的研究与应用[J]. 植物病理学报,2000,27:83-87.
NONG X Q. A review of the researches and applications of Brongniart’s white muscardine fungus *Beauveria brongniartii* Petch [J]. Acta Phytophylacica Sinica,2000,27:83-87. (in Chinese)

[9] REHNER S A,BUCKLEY E P. Isolation and characterization of microsatellite loci from the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) [J]. Molecular Ecology Notes,2005,3:409-411.

[10] DE HOOG G S. The genera *Beauveria*, *Isaria*, *Tritirachium* and *Acrodonium* gen. nov [J]. Stud Mycol,1972,1:1-41.

[11] DE HOOG G S. Notes on fungicolous hyphomycetes and their relatives [J]. Persoonia,1978,10:33-81.

[12] DE HOOG G S,RAO V. Some new hyphomycetes [J]. Persoonia,1975,8:207-212.

[13] SAMSON R A,EVANS H C. Two new *Beauveria* spp. from south America[J]. J Invert Pathol,1982,39:93-97.

[14] BISSETT J,WIDDEN P. A new species of *Beauveria* from scottish moorland soil[J]. Can. J. Bot. ,1986,66:361-362.

[15] REHNER S A,AQUINO DE M M,Bischoff J F. Description and phylogenetic placement of *Beauveria malawiensis* sp. nov. (Clavicipitaceae,Hypocreales)[J]. Mycotaxon,2006.98:137-145.

[16] REHNER S A,MINNIS D,SUNG G H,*et al.* Phylogeny and systematics of the anamorphic, entomopathogenic genus *Beauveria*[J]. Mycologia,2011,103:1055-1073.

[17] SCHCH C L,SEIFERT K A,HUHDORF S,*et al.* Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for fungi[J]. PNAS,2012,109:6241-6246.

[18] LIU D,COLOE S,BAIRD R,*et al.* Rapid mini-preparation of fungal DNA for PCR[J]. Journal of clinical microbiology, 2000,38:471.

[19] 李增智,黄勃,陈名君,等. 分子时代的白僵菌研究[J]. 菌物学报,2011,30(6):823-835
LI Z Z,HUANG B,CHEN M J,*et al.* Studies on the genus *Beauveria* in molecular era[J]. Mycosystema,2000,38:471.

[20] LIU Z Y,LIANG Z Q,WHALLEY A J S,*et al.* A new species of *Beauveria*, the anamorph of *Cordyceps soboli fera*[J]. Fungal Diversity,2001(7):61-70.

(上接第 137 页)

[10] 胡厚臻,侯文娟,潘启龙,等. 配方施肥对刨花润楠幼苗生长和光合生理的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(6):39-45.
HU H Z ,HOU W J,PAN Q L,*et al.* Effects of formulated fertilization on the growth and photosynthetic physiological properties of *Machilus pauhoi* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(6):39-45. (in Chinese)

[11] 郑勇平,孙鸿有,董汝湘,等. 杉木不同世代不同类型种子园遗传改良增益研究[J]. 林业科学,2007,43(3):20-27.
ZHENG Y P,SUN H Y,DONG R X,*et al.* A study on realized and genetic gains of different generations and types in seed orchards of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*)[J]. Scientia Silvae Sinicae,2007,43(3):20-27. (in Chinese)

[12] 赵燕,王辉,李吉跃. 氮、磷、钾对毛白杨幼苗光合生理的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(5):34-38.
ZHAO Y,WANG H,LI J Y. Effects of Nitrogen,Phosphorus and Potassium on photosynthetic physiology of *Populus tomentosa* seedlings[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(5):34-38. (in Chinese)

[13] 洪伟,吴承祯. 试验设计与分析—原理·操作·案例[M]. 北京:中国林业出版社,2004:7-12.

[14] 梁一池. 树木育种原理与方法[M]. 厦门:厦门大学出版社,1998:162-168.

[15] 郭祥泉,洪伟,吴承祯,等. “t”检验法则在闽北抗寒-速生邓恩桉优株筛选的应用[J]. 应用与环境生物学报,2009,15(3):385-389.
GUO X Q,HONG W,WU C Z,*et al.* Application of “t” determination principle in selection of *Eucalyptus dunnii* elite trees with cold-resistant and rapid-growth genotypes in northern Fujian, China[J]. Chin. J. Appl. Environ Biol. , 2009, 15 (3):385-389. (in Chinese)

[16] 郭祥泉. 邓恩桉栽培学[M]. 北京:中国林业出版社,2015:212-270.