

# Genetic variation in fall cold hardiness in coastal Douglas-fir in western Oregon and Washington

J. Bradley St. Clair

**Abstract:** Genetic variation in fall cold damage in coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) was measured by exposing excised branches of seedlings from 666 source locations grown in a common garden to freezing temperatures in a programmable freezer. Considerable variation was found among populations in fall cold hardiness of stems, needles, and buds compared with bud burst, bud set, and biomass growth after 2 years. Variation in fall cold hardiness was strongly correlated ( $r = 0.67$ ) with cold-season temperatures of the source environment. Large population differences corresponding with environmental gradients are evidence that natural selection has been important in determining genetic variation in fall cold hardiness, much more so than in traits of bud burst (a surrogate for spring cold hardiness), bud set, and growth. Seed movement guidelines and breeding zones may be more restrictive when considering genetic variation in fall cold hardiness compared with growth, phenology, or spring cold hardiness. A regional stratification system based on ecoregions with latitudinal and elevational divisions, and roughly corresponding with breeding zones used in Oregon and Washington, appeared to be adequate for minimizing population differences within regions for growth and phenology, but perhaps not fall cold hardiness. Although cold hardiness varied among populations, within-population and within-region variation is sufficiently large that responses to natural or artificial selection may be readily achieved.

**Key words:** cold hardiness, genetic variation, adaptation, *Pseudotsuga menziesii*.

**Résumé :** Les auteurs ont mesuré la variation génétique des dommages par le froid automnal, chez le sapin Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*), en exposant les rameaux excisés de plantules provenant de 666 localités sources, cultivées dans un jardin commun, à des températures de congélation dans un congélateur programmable. On a trouvé une variation considérable au sein de la population quant à la résistance au froid automnal chez les tiges, les aiguilles et les bourgeons, comparativement à l'ouverture des bourgeons et la croissance de la biomasse après deux ans. La variation de la résistance au froid automnal est fortement corrélée ( $r = 0,67$ ) avec les températures de la saison froide de l'environnement source. Les grandes différences observées dans les populations correspondant aux gradients environnementaux, sont des preuves que la sélection naturelle a joué un rôle important dans la détermination de la variation génétique de la résistance au froid automnal, beaucoup plus que pour les caractères de l'ouverture des bourgeons (équivalent de la résistance au froid printanier), la formation des bourgeons, et la croissance. Les prescriptions pour le mouvement des graines et les zones de croisement pourraient être plus restrictives, lorsqu'on considère la variation de la résistance au froid automnal comparativement à la croissance, la phenologie, ou la résistance au froid printanier. Un système de stratification régional, basé sur des ecoregions avec des divisions latitudinales et altitudinales correspondant grossièrement aux zones de croisement utilisées en Oregon et Washington, semble adéquat pour minimiser les différences dans les régions, quant à la croissance et la phenologie mais possiblement pas pour la résistance au froid automnal. Bien que la résistance au froid varie entre les populations, dans les populations et dans les régions, la variation est suffisamment importante pour que les réponses à la sélection naturelle ou artificielle se réalisent rapidement.

**Mots des :** résistance au froid, variation génétique, adaptation, *Pseudotsuga menziesii*.

[Traduit par la Rédaction]

## Introduction

Susceptibility to damage from cold is important to the adaptation of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), particularly because of the highly variable environments within its range, both spatially and temporally. Cold hardiness varies among populations of Douglas-fir, and much of the variation is climatically related to gradients in temperature and moisture (Campbell and Sorensen 1973; Re-

We are unable to supply this entire article because the publisher requires payment of a copyright fee. You may be able to obtain a copy from your local library, or from various commercial document delivery services.

Received 7 February 2006. Published on the NRC Research Press Web site at <http://canjbot.nrc.ca> on 12 August 2006.

J.B. St. Clair. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 3200 SW Jefferson Way, Corvallis, OR 97331, USA (e-mail: bstclair@fs.fed.us).