

Short Note: Importance of Additive Genetic and Specific Combining Ability Effects for Rooting Ability of Stem Cuttings in *Eucalyptus globulus*

By L. LEMOS¹), A. CARVALHO¹), J. A. ARAÚJO¹) and N. M. G. BORRALHO²)

(Received 17th November 1997)

Abstract

A large study involving 2194 clones from 124 full-sib families tested in four rooting trials, was conducted to investigate the importance of genetic additive and specific combining ability effects in the rooting success of *Eucalyptus globulus* stem cuttings. The results found a high narrow sense heritability ($h^2 = 0.54$), low specific combining ability effects and low genotype by test interaction. They suggest that large gains can be achieved by direct selection for rooting ability. Rooting ability of specific crosses seems therefore to be accurately predicted simply from the parents' additive genetic merit. This opens the possibility of family propagation schemes in eucalypts.

Key words: rooting ability, additive effects, combining ability, heritability, *Eucalyptus globulus*.

FDIC: 165.3; 165.441; 181.36; 232.328.1; 176.1 *Eucalyptus globulus*.

Introduction

There is considerable interest in using vegetative propagation to deploy genetically improved *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (BARBOUR and BUTCHER, 1995; MACRAE and COTTERILL, 1997). Although the species is known to be difficult to root (WILSON, 1994), selection for good rooting clones seems to be possible, with a number of studies reporting rooting ability to be under strong genetic control (BORRALHO and WILSON, 1994; ENGLAND and BORRALHO, 1995). These, however, were based on a limited number of crosses or used only open pollinated families. This paper presents more accurate estimates of both additive and dominance genetic variances for rooting ability on four large propagation experiments carried out over a period of two years, including 2194 clones from 124 full-sib families.

Material and Methods

Genetic material

The clones (2194 in total) were derived from seed of 124 crosses between 40 unrelated parents, with each family having approximately 18 clones per family. The parents were originally selected for superior growth and form, but not for rooting, in unimproved stands of *Eucalyptus globulus* in Portugal. The crossing scheme was highly unbalanced, with the number of crosses per parent ranging between 1 and 15, with an average of 3.

Propagation techniques

Stem cuttings were harvested from seedling-origin mother plants growing in paper pots (harvest 1 and 2) and from previously rooted cuttings growing in an outdoors irrigated multiplication yard (harvest 3 and 4). Cuttings were dipped in a hormone powder and set in a 1:1 peat and styrofoam medium. Cuttings were kept in an environmentally controlled

glasshouse with humidity greater than 90%, an average temperature of 21 °C and a minimum temperature of 15 °C, and kept wet with intermittent mist for 4 weeks.

Measurements

The rooting tests were conducted in May 1994, October 1994, May 1995 and October 1995. The first test consisted of an average of 8 ramets per clone, ranging between 1 and 19. The second, third and fourth tests had an average of 10, 16 and 20 ramets per clone, respectively, ranging between 2 and 54 ramets per clone. Rooted cuttings were counted 35 days after setting, when cuttings with roots could be easily distinguished.

Statistical analysis

Analysis of the data followed the model:

$$y = Xb + Z_1a + Z_2s + Z_3ae + Z_4se + e \quad [1]$$

where y is the vector of observed rooting ability per clone in each test, given as a percentage, b is the vector of trial effects (fixed), a is the additive genetic effect, s is the effect due to specific combining ability (SCA), ae and se are the effects due to additive by test and SCA by test interactions respectively, and e is the residual. X , Z_1 , Z_2 , Z_3 and Z_4 are known design matrices. To correct for the finite sample size, proportions of 0 and 1 were replaced by $0.5/n$ and $(n-0.5)/n$, respectively, where n is the number of ramets per clone and test. An iterative weighted Restricted Maximum Likelihood analysis (COLLET, 1991) was used to obtain the weights, as $w_{ij} = [p_{ij} (1-p_{ij})/n_{ij}]^{-1}$, where p_{ij} is the predicted proportion for the i th clone in the j th test. Variance ratios and associated standard errors. The data was assumed to have a binomial distribution with a logit link function. Variance components were estimated using the program ASREML (GILMOUR *et al.*, 1995).

Results

Rooting success across the four experiments varied significantly, being 9%, 26%, 39% and 9% for the four consecutive experiments, but there was no obvious trend in rooting success developing over time.

Narrow sense heritability was $h^2 = 0.54$, higher than previous estimates of $h^2 = 0.41$ by BORRALHO and WILSON (1994) and $h^2 = 0.36$ by ENGLAND and BORRALHO (1995). The SCA effects were low, explaining only 1.5% of the total variance (or 6% in terms of dominance if dominance is assumed to be four times SCA). Additive genetic-by-test and SCA-by-test interactions were also small, but significant, accounting for 8% and 6% of the variance, respectively. Given the time lag between tests, and the relatively large seasonal differences within a year, the low genotype-by-test interactions suggests the clonal merit for rooting can be accurately estimated from a few rooting experiments and under various environmental conditions. Low genotype-by-test interaction was also reported by BORRALHO and WILSON (1994).

¹) RAIZ, Instituto de Investigação da Floresta e do Papel, P. O. Box 15, 2065 Alcoentre, Portugal

²) Cooperative Research Centre for Sustainable Production Forestry, University of Tasmania, Plant Sciences Department, GPO Box 252-55, Hobart 7001, TAS, Australia. To whom correspondence should be sent.

Table 1. – Variance components for additive genetic, specific combining ability effects (SCA), additive by test and SCA by test interaction and residual effects, number of equations for each effect (terms) and variance ratios and standard errors for rooting ability across the 4 rooting tests.

Source	Terms	Component	Variance ratio
Additive	2234	1.71811	0.538 ± 0.018
SCA	123	0.0514	0.016 ± 0.015
Add x Test	8936	0.3435	0.076 ± 0.008
SCA x Test	492	0.17825	0.013 ± 0.003
Error	3715	1.0000	

Discussion

The study showed evidence of a high heritability and genetic variance, with low dominance effects and genotype-by-test interaction and should result in a very high selection accuracy when predicting genetic merit for clones or families. This is important because it opens the possibility of successful bulk propagation of *E. globulus* based on untested progeny from high rooting parents. In our study, the best clones had an expected breeding values of around 90%. With the high heritability and repeatability across tests, its progeny is expected to root with a high degree of confidence, near the mid parent value of 90%. Although family forestry is a reality in pines, in eucalypts such scheme has only been implemented through large scale control-pollination programs (LEAL and COTTERILL,

1997). In eucalypts our results suggest family deployment strategy in eucalypts are likely to be successful.

References

- BARBOUR, E. L. and BUTCHER, T.: Field testing vegetative propagation techniques of *Eucalyptus globulus*. In: Proc. IUFRO Conf. On Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality. Pg. 313–314. Hobart, Australia, 19 to 24 Feb. CRC for Temperate Hardwood Forestry (1995). — BORRALHO, N. M. G. and WILSON, P. J.: Inheritance of initial survival and rooting ability in *Eucalyptus globulus* LABILL. stem cuttings. *Silvae Genetica* **43**: 238–242 (1994). — COLLET, D.: Modelling Binary Data. Chapman & Hall, London (1991). — ENGLAND, N. and BORRALHO, N. M. G.: Heritability of rooting success in *Eucalyptus globulus* stem cuttings. In: Proc. IUFRO Conf. On Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality. Pg. 237–238. Hobart, Australia, 19 to 24 Feb. CRC for Temperate Hardwood Forestry (1995). — GILMOUR, A. R., THOMPSON, R. and CULLIS, B. R.: Average information REML, an efficient algorithm for variance parameter estimation in linear mixed models. *Biometrics* **51**: 1440–1450 (1995). — LEAL, A. M. C. and COTTERILL, P. P.: Mass control-pollination of *Eucalyptus globulus*. In: Proc. IUFRO Conf. On Silviculture and Improvement of Eucalypts. Pp. 256–258. Salvador, Brazil, 24 to 27 August, EMBRAPA (1997). — MACRAE, S. and COTTERILL, P. P.: Macropropagation and micropropagation of *Eucalyptus globulus*: means of capturing genetic gain. In: Proc. IUFRO Conf. On Silviculture and Improvement of Eucalypts. Pp. 102–110. Salvador, Brazil, 24 to 27 August, EMBRAPA (1997). — WILSON, P. J.: Propagation characteristics of *Eucalyptus globulus* LABILL. Ssp. *Globulus* stem cuttings in relation to their original position in the parent shoot. *J. Hort. Sci.* **68**: 715–724 (1993).

Silvae Genetica is an international journal, which continues *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung* (Journal of Forest Genetics and Forest Tree Breeding) founded by W. LANGNER in 1951. In Silvae Genetica original articles, short notes, reviews, announcements and reports on meetings and congresses on Forest Tree Breeding and Genetics and related fields are published in German, English or French.

Reproduction of contributions is not permitted; reproduction of illustrations is permitted only with the approval of the author and the publisher.

Authors should send two copies of their manuscript to one of the regional co-editors, generally close to the institute from which the article originates. Authors are however free to select an appropriate co-editor who should be a native speaker of the language of the paper and familiar with the subject matter.

Original articles, including tables, illustrations and literature must not exceed six printed pages (equivalent to 24 typed pages with 30 lines at double spacing and with a 5 cm border). Longer papers can only be accepted in exceptional cases. The same applies to extra costs for special plates. – In preparing the manuscript authors are asked to conform to the following arrangements. The title page should contain the following information: a) Title of the paper; b) Christian and surnames of the authors; c) Institute where the article has been written; d) if necessary, the present address of the authors as footnote; e) up to 10 key words to facilitate referencing of the paper; and on a separate special page; f) a summary in the original language of the paper and one in English, if that is not the original language of the paper.

For financial and technical reasons tables, figures and mathematical terms or formulae must be submitted separately from the text and ready for photoprinting. This applies especially to mathematical formulae which should be numbered and brought together in the finished state into one or few groups.

Manuscripts ready for printing will be registered the month they reach the editorial office in Grosshansdorf. They will be published in the order of their receipt. Their rearrangement for technical reasons is the prerogative of the editorial manager.

Short notes may be up to one page in length (about 4 pages of typescript) and should also be classified by some key words. They will be published as soon as possible.

Galley proofs of original articles and short notes will be sent to authors for correction. They must be returned with the least possible delay. The only corrections permitted are those arising during typesetting. No amendments of the manuscript are permitted. Corrections on announcements, reports, and reviews will be made in the editorial office.

Reprints: Authors obtain, free of charge, up to 30 reprints of their articles. Additional reprints may be purchased if ordered in advance from the publisher.

Publication schedule: 6 numbers each year.

Silvae Genetica ist eine internationale Zeitschrift; sie setzt die im Jahre 1951 von W. LANGNER begründete *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung* fort. Silvae Genetica veröffentlicht Originalarbeiten, Kurzmitteilungen, Besprechungen sowie Hinweise und Berichte über Tagungen und Kongresse über Genetik und Züchtung sowie verwandte Fachgebiete in deutscher, englischer oder französischer Sprache, soweit sie für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung von Bedeutung sind.

Der Nachdruck der Beiträge ist nicht gestattet; der Nachdruck von Abbildungen nur mit Genehmigung des Verfassers und des Verlages.

Manuskripte werden in zweifacher Ausfertigung im allgemeinen an einen der regionalen Mitarbeiter in der Nähe der Institution erbeten, aus der der Artikel stammt. Autoren sind jedoch frei, einen entsprechenden Mitarbeiter zur Durchsicht ihrer Arbeit zu wählen. Er sollte die Sprache, in der der Artikel abgefaßt ist, als Muttersprache beherrschen und mit dem bearbeiteten Problem vertraut sein.

Originalarbeiten einschließlich Tabellen, Abbildungen und Literaturhinweisen sollen nicht über 6 Druckseiten hinausgehen. (Dieser Umfang entspricht ungefähr 24 Schreibmaschinenseiten mit 30 Zeilen mit doppeltem Abstand und 5 cm Rand). Längere Arbeiten können nur in Ausnahmefällen angenommen werden. Das gleiche gilt für spezielle Druckverfahren. – Die Anordnung der Manuskripte soll in der für Silvae Genetica üblichen Form geschehen. Die Titelseite soll die folgenden Informationen aufweisen: a) Titel der Arbeit, b) Vor- und Zunamen der Autoren, c) Institut, in dem die Arbeit entstanden ist, d) wenn notwendig, die gegenwärtige Anschrift der Verfasser als Fußnote, e) bis zu 10 Schlagworte zur Charakterisierung des Inhalts der Arbeit und zur leichteren bibliographischen Erfassung und außerdem auf besonderem Blatt, f) eine Zusammenfassung in der Originalsprache der Arbeit und eine weitere in englisch, wenn dies nicht die Originalsprache der Arbeit ist.

Aus finanziellen und technischen Gründen sollen Tabellen, Abbildungen und mathematische Ausdrücke oder Formeln getrennt vom Text als druckfertige Klischee-Vorlagen für den Photo-Druck eingereicht werden. Dies gilt besonders auch für im Text vorkommende mathematische Ausdrücke, die mit entsprechender Kennzeichnung (Numerierung) in einer oder wenigen Klischee-Vorlagen zusammengefaßt werden sollen.

Druckfertige Manuskripte werden mit dem Monat ihres Eingangs in die Schriftleitung in Grosshansdorf registriert und in der Reihenfolge ihres Eingangs veröffentlicht. Aus technischen Gründen kann der Redakteur jedoch eine andere Entscheidung treffen.

Kurzmitteilungen können bis zu einer Druckseite (etwa 4 Schreibmaschinenseiten) lang sein und sollten ebenfalls mit einigen Schlagworten charakterisiert werden. Sie erscheinen baldmöglichst außer der Reihe.

Druckfahnen von Originalarbeiten und Kurzmitteilungen werden den Autoren zur Korrektur zugesandt. Sie sollen unter Verwendung der internationalen üblichen Symbole korrigiert und möglichst umgehend an den Verlag zurückgeschickt werden. Dabei sind nur solche Fehler zu korrigieren erlaubt, die auf fehlerhaften Satz zurückzuführen sind. Änderungen des Manuskripts sind nicht gestattet. Die Korrekturen von Ankündigungen, Berichten

Silvae Genetica est un Périodique international qui est la suite de *Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung* (Journal of Forest Genetics and Forest Tree Breeding) fondé en 1951 par W. LANGNER et publie des articles originaux, en allemand, anglais ou français, ainsi que des Notes et des mises au point annonces et des comptes rendus de Réunions et de Congrès sur l'Amélioration des Arbres Forestiers, la Génétique et les disciplines voisines. La reproduction des articles n'est pas autorisée, la reproduction des illustrations n'est autorisée qu'avec l'approbation de l'auteur et de l'éditeur.

Les auteurs doivent envoyer deux exemplaires de leur manuscrit à l'un des co-éditeurs régionaux, en général le plus proche de l'Institut dont l'auteur de l'article fait partie. Toutefois, les auteurs sont libre de choisir un co-éditeur de même langue que celle de l'article, et à qui le sujet de l'article soit familier.

Les articles originaux y compris les tableaux, les figures et la bibliographie, ne doit pas dépasser 6 pages imprimées (soit 24 pages dactylographiées de 30 lignes, à double interligne et avec une marge de 5 cm).

Les articles plus longs ne peuvent être acceptés que dans des cas exceptionnels. Les mêmes conditions s'appliquent aux frais supplémentaires pour les clichés spéciaux. Pour la préparation du manuscrit, il est demandé aux auteurs de se conformer aux indications suivantes: La page de titre doit contenir les informations suivantes a) Titre de l'article; b) Nom et prénoms des auteurs; c) Institut auquel l'auteur appartient; d) si nécessaire, l'adresse actuelle des auteurs en note infrapaginale; e) des mots clés permettant de faciliter la classification de l'article – dans le limite de 10; et, sur une page séparée f) un résumé dans la langue originale de l'article – un résumé en anglais, si ce n'est pas la langue originale de l'article.

Pour des raisons financières et techniques les tableaux, les figures et les termes ou formules mathématiques doivent être présentés séparés du texte et prêts à l'impression-photo. Ceci s'applique particulièrement aux formules mathématiques qui doivent être numérotées, et rassemblées dans leur état définitif en un ou plusieurs groupes.

Les manuscrits prêts à l'impression seront enregistrés dans le mois de leur arrivée au Bureau de Rédaction de Grosshansdorf. Ils sont publiés dans l'ordre chronologique de leur arrivée au Bureau de Rédaction. Le Rédacteur peut toutefois modifier cet ordre pour des raisons techniques.

Les notes peuvent avoir jusqu'à 1 page (environ 4 pages dactylographiées) et doivent être indexées par quelques mots clés. Elles seront publiés aussi rapidement que possible.

Les épreuves d'imprimerie des articles originaux et des notes seront envoyées aux auteurs pour correction. Elles doivent être retournées dans le délai le plus bref possible. Les seules corrections permises sont celle qui ont rapport à la typographie. Aucune modification du manuscrit n'est pas permise. Les corrections des annonces, compte-rendus et mises au point sont fait dans le Bureau de Rédaction.

Tiré à part: Les auteurs peuvent obtenir gratuitement jusqu'à 30 tirés à part de leur

Subscription: *Silvae Genetica* may be ordered through book-sellers in Germany and other countries, or directly from the publisher. Subscriptions are effective for a complete volume and continue in force unless terminated following delivery of the last number of a volume.

Price of subscription for the 6 numbers of a volume, DM 485.-; for students DM 388.-; postal expenses are extra.

This journal is covered by Biological Abstracts, Biosciences Information Service of Biological Abstracts (Series Agriculture, Biology and Environmental Sciences) of Institute for Scientific Information, Forestry Abstracts, Institute for Scientific Information of the Academy of Sciences of the USSR, Cambridge Scientific Abstracts.

Advertisements: Inquiries about the size and price of advertisements should be addressed to the publisher.

und Besprechungen werden in der Schriftleitung durchgeführt.

Sonderdrucke: Die Verfasser erhalten von ihren Arbeiten bis zu 30 Sonderdrucke kostenlos. Bei rechtzeitiger Bestellung bestehen für weitere Sonderdrucke Bezugsmöglichkeiten gegen Berechnung.

Erscheinungsweise: 6 Hefte im Jahr.

Bezugsmöglichkeiten: *Silvae Genetica* kann durch den in- und ausländischen Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Das Abonnement läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach der Lieferung des Schlußheftes eines Bandes eine Abbestellung erfolgt.

Bezugspreis für die 6 Hefte des Bandes beträgt DM 485,- (für Studenten DM 388,-) zuzüglich Versandkosten.

Anzeigen: Anfragen über Preise und Größe von Anzeigen werden an den Verlag erbeten.

article. Les quantités supplémentaires peuvent être achetées par comande à l'avance auprès de l'éditeur.

Périodicité de publication: 6 fascicules par an.

Abonnement: On peut s'abonner à *Silvae Genetica* auprès des libraires en Allemagne ou dans les autres pays, ou bien directement auprès de l'éditeur. L'abonnement est valable pour un volume complet, et se poursuit automatiquement, à moins que l'abonné ne demande qu'il se termine après le dernier numéro du volume en cours.

Prix de l'abonnement: pour les 6 numéros d'un volume: 485,- DM; pour les étudiants: 388,- DM. Les frais d'expédition sont en sus.

Publicité: Les demandes d'informations concernant les prix et la dimension des annonces publicitaires doivent être adressées à l'éditeur.

Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.)

Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen
und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 112

Von G. MÜLLER-STARCK

163 Seiten mit 19 Abbildungen und 39 Tabellen
Kartonierte DM 36,-

Waldökosysteme sind wegen ihrer vielfältigen Schutz- und Sozialfunktionen ein unersetzbarer Bestandteil der belebten Umwelt. Waldbäume sind die Trägerorganismen dieser Systeme. Sie sind ortsfest wie viele andere Organismen, sie unterscheiden sich jedoch von diesen durch ihre ungewöhnlich lange Lebensdauer. Baumpopulationen sind einer großen räumlichen Heterogenität ihrer Umweltbedingungen ausgesetzt. Komplexität und Variabilität dieser Bedingungen erzeugen ein Gefährdungspotential, welches für Baumpopulationen wesentlich höher einzuschätzen ist, als für Populationen anderer Nutzpflanzen. Daher hat die Bewahrung der Fähigkeiten, sich an variable Umweltbedingungen anzupassen und zu überleben, für Baumpopulationen besonders große Bedeutung.

Die vorliegende Arbeit möchte dazu beitragen, den Kenntnisstand über ökologisch-genetische Gesetzmäßigkeiten in Waldökosystemen zu erweitern. Ein zentraler Punkt ist der Nachweis genetischer Kon-

sequenzen anthropogener Schädigungen. Für Sanierungskonzepte von Waldökosystemen werden Informationen über genetische Ressourcen und deren Dynamik benötigt, weil die Fähigkeit von Populationen, sich anzupassen und zu überleben, genetisch determiniert ist.

Eine Zeit neuartiger und ungewöhnlich komplexer Belastungen hat neue Rahmenbedingungen geschaffen, die eine Erweiterung der klassischen Prinzipien der forstlichen Nachhaltigkeit notwendig machen. Die forstliche Nutzung von Waldökosystemen kann auf den Schutz genetischer Ressourcen und genetischer Systeme nicht mehr verzichten. Der Erhaltung der Stabilität von Waldökosystemen sollte konsequent Vorrang vor ökonomischen Erwägungen eingeräumt werden. Anthropogene Eingriffe müssen dort ihre Grenzen finden, wo Anpassung und Überleben von Waldökosystemen in Frage gestellt sind.

J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG · FRANKFURT AM MAIN