

factors for increasing production. The rate of regeneration of the root system, which can be favored by several practical measures, often determines the duration and severity of growth interruptions and losses of increment.

Further examples of possibilities of increasing wood production by practical application of knowledge about root growth and root behavior could be given. At present, unfortunately, detailed data on quantitative differences in the behavior of tree species and their provenances are still lacking. Available observations are too sporadic to permit valid conclusions to be drawn from them. Therefore, reviewing the literature and summarizing the facts and opinions found therein is not easy. But in our endeavors we should not shrink from attempting to analyze the complicated physiological processes of interaction with the environment and from striving to build up a theoretical base for a high silvicultural production.

REFERENCES

- Aaltonen, V. T. (1920). Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands. *Acta for. fenn.* 14, 1-55.
- Aaltonen, V. T. (1942). Einige Vegetationsversuche mit Baumpflanzen. *Acta for. fenn.* 50, 1-33.
- Albert, R. (1907). Besteht ein Zusammenhang zwischen Bodenbeschaffenheit und Wurzelkrankung der Kiefer auf aufgeforstetem Ackerland? *Z. Forst- u. Jagdw.* 39, 283-301 and 353-368.
- Albert, R. (1928). Die sogenannten Bodenerkrankungen, ihr Wesen, ihre Ursachen und Bedeutung für die Forstwirtschaft. *Dtsch. Forstw.* 25, 110-120.
- Assmann, E. (1961). "Waldertragskunde," 490 pp. Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München.
- Barner, J. (1954). Das Wurzelsystem der Pflanze als Kriterium für die physiologische Flach- und Tiefgründigkeit eines Standortes. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 125, 245-247.
- Barner, J. (1965). "Experimentelle Ökologie des Kulturpflanzenbaus," 231 pp. Parey-Verlag, Hamburg and Berlin.
- Barney, C. W. (1951). Effects of soil temperature and light intensity on root growth of loblolly pine seedlings. *Plant Physiol.* 26, 146-163.
- Bibelriether, H. (1964). Unterschiedliche Wurzelbildung bei Kiefern verschiedener Provenienz. *Forstwiss. Cbl.* 83, 129-140.
- Biswell, H. (1934). Effects of environment upon the root-habits of certain deciduous forest trees. *Bot. Gaz.* 96, 676-708.
- Björkman, E. (1942). Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. *Symb. bot. upsaliens.* 2, 1-190.
- Bodo, F. (1926). Untersuchungen auf dem Gebiet des Wurzelwachstums des Apfels und der Zwetschge. *Fortschr. Landw.* 24, 768-773.
- Bonnemann, A. (1939). "Der Kiefern-Buchen-Mischbestand," 46 pp. Dissertation, Eberswalde, Schaper-Verlag, Hannover.
- Bormann, F. H. (1957). Moisture transfer between plants through intertwined root systems. *Plant Physiol.* 32, 48-55.
- Boynnton, D. (1940). Soil atmosphere and the production of new rootlets by apple tree root systems. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* 42, 53-58.
- Boynnton, D., and Reuther, W. (1938). Seasonal variation of oxygen and carbon dioxide in three different orchard soils during 1938 and its possible significance. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* 36, 1-6.
- Bray, J. R. (1963). Root production and the estimation of net productivity. *Canad. J. Bot.* 41, 65-72.
- Buchholz, F. and Neumann, E. (1964). Der Einfluss der Bodenbearbeitung und Düngung auf den Wasserhaushalt und die Durchwurzelung sandiger Waldböden Brandenburgs. *Albrecht-Thaer-Arch.* 8, 525-536.
- Büsgen M. (1901). Einiges über Gestalt und Wachstumsweise der Baumwurzeln. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 77, 273-278.
- Busarova, E. S. (1961). Influence of some environmental factors on the growth of spruce and pine in swamp forest types. *Lesn. Hoz.* 14, 11-14. (Russian.)
- Cannon, W. A., and Free, E. E. (1925). Physiological features of roots, with special reference to relationship of roots to aeration of the soil. *Carnegie Inst. Wash. Pub.* 368, 168 pp.
- Chandler, W. H. (1923). Results of some experiments in pruning fruit trees. *Bull. Cornell agric. Exp. Sta.* 415, 75 pp.
- Childers, N. F., and White, D. G. (1942). Influence of submersion of the roots on transpiration, apparent photosynthesis, and respiration of young apple trees. *Plant Physiol.* 17, 603-618.
- Coile, T. S. (1937). Distribution of forest tree roots in North Carolina Piedmont soils. *J. For.* 35, 247-257.
- Coster, C. (1933). Wortelstudiën in de Tropen. III. De zuurstofbehoefte van het wortelstelsel. *Korte Meded. Boschbouwproefstat. Buitenz.* 31, 41-96. (German summary.)
- Crider, F. J. (1928). Winter root growth of plants. *Science* 68, 403-404.
- Dchjen, Y. (1962). "Wurzeluntersuchungen an japanischer Lärche (*Larix leptolepis* Gord.) auf diluvialen Standorten," 234 pp. Dissertation, Eberswalde (unpublished, available in Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, library).
- Dittmer, H. J. (1937). A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant (*Secale cereale*). *Amer. J. Bot.* 24, 417-420.
- Du Hamel du Monceau, H. L. (1758). "La physique des Arbres," 2 vols., 280 pp. Translated into German by C. C. Oelhafen von Schöllnbach as "Naturgeschichte der Bäume," 2 vols., 4 parts. Winterschmidt, Nürnberg, 1764-1767.
- Ehwald, E. (1957). Über den Nährstoffkreislauf des Waldes. S.B. *Dtsch. Akad. Landwirtschaftswiss., Berl.* 6, 1-56.
- Ehwald, E., Buchholz, F., Grunert, F., Neumann, E. E., and Vetterlein, E. (1963). Neue Ergebnisse über Durchwurzelung und Wasserhaushalt in Sandböden und lehmbeeinflussten Sandböden und ihre Bedeutung für den Waldbau. *Soz. Forst-wirt.* 13, 72-74 and 113-116.
- Eidmann, F. E. (1935). Beitrag zur Erforschung der Grundlagen für die Vergesellschaftung verschiedener Holzarten. *Mitt. Forstwirt. Forstwiss.* 6, 151-173.
- Engler, A. (1903). Untersuchungen über das Wurzelwachstum der Holzarten. *Mitt. Schweiz. Centralanstalt forstl. Versuchswes.* 7, 247-272.

- Erteld, W. (1953). Die Einwirkung des Buchenunterbaus auf die Ertragsleistung von Kiefernbeständen. *Arch. Forstw.* 2, 97-141.
- Evers, F. H. (1964). Die Bedeutung der Stickstoff-Form für Wachstum und Ernährung der Pflanzen, insbesondere der Waldbäume. *Mitt. Ver. forstl. Standortkunde Forstpfl. Zücht.* 14, 19-38.
- Flaig, W. (1958). Die Chemie organischer Stoffe im Boden und deren physiologische Wirkung. *Proc. 2nd and 4th Komm. int. Soc. Soil Sci. Hamburg*, Vol. 2, pp. 11-45.
- Gardner, H. R., and Danielson, R. E. (1964). Penetration of wax layers by cotton roots as affected by some soil physical conditions. *Soil. Sci.* 28, 457-460.
- Gast, P. R. (1937). Studies on the development of conifers in raw humus. III. The growth of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings in pot cultures of different soils under varied radiation intensities. *Medd. Skogsförsöksanst. Stockh.* 29, 587-682.
- Girton, R. E. (1927). The growth of citrus seedlings as influenced by environmental factors. *Univ. Calif. Publ. agric. Sci.* 5, 83-117.
- Giulimondi, G. (1961). Effect of humic acid on the rooting and growth of Poplars and Eucalypts. *Proc. 13th Congr. int. Union For. Res. Organ. (IUFRO)*, Vienna, 1961 Vol. 1, Part 2, Section 23-6, 7 pp.
- Grosskopf, W. (1950). Bestimmung der charakteristischen Feinwurzelintensitäten in ungünstigen Waldbodenprofilen und ihre ökologische Auswertung. *Mitt. Bundesforsch. Anst. Forst- u. Holzw.* 11, 1-19.
- Groth, D. (1927). Die Wurzelbildung der Douglasie und ihr Einfluss auf die Sturm- und Schneefestigkeit dieser Holzart. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 103, 186-205, 217-331, and 268-285.
- Grunert, F. (1955). "Die Verteilung der Feinwurzeln unter Buche und Kiefer auf einigen diluvialen Standorten," 242 pp. Diplomarbeit, Eberswalde, Humboldt-Universität, Berlin (unpublished, available in Institut für Bodenkunde, Eberswalde, library).
- Hales, S. (1748). "Statik der Gewächse; . . ." (Translated into German by Reichsfreyherm von Wolff), 264 pp. Riengerische Buchhandlung, Halle. (1st. English ed., 1727.)
- Harris, G. H. (1926). The activity of apple and filbert roots especially during the winter months. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* 23, 414-422.
- Hartig, G. L. (1808). "Lehrbuch für Förster und die es werden wollen", 3 vols. Cotta'sche Buchhandlung, Tübingen.
- Hartig, T. (1863). Ueber die Zeit des Zuwachses der Baumwurzeln. *Bot. Ztg.* 21, 288-289.
- Hausdörfer, H. D. (1959). "Beiträge zur Kenntnis der Durchwurzelungsverhältnisse unter Buchen und Kiefern auf diluvialen Sandböden und Lehmböden mit Sanddecken in Nordostdeutschland," 199 pp. Dissertation, Humboldt-Universität, Berlin (unpublished, available in Institut für Forstwissenschaften, Eberswalde, library).
- Heikurainen, L. (1955). Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. *Acta for. fenn.* 65, 1-70.
- Heikurainen, L. (1964). Improvement of forest growth on poorly drained peat soils. *Int. Rev. For. Res.* 1, 40-113.

- Heinicke, A. J. (1936). Root growth in young apple trees made shortly before and after defoliation. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* 33, 164-165.
- Hellmers, H. (1963). Effects of soil and air temperatures on growth of redwood seedlings. *Bot. Gaz.* 124, 172-177.
- Hesselink, E. (1926). Einiges über die Wurzelentwicklung der Gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris* L.) und der österreichischen Schwarzkiefer (*Pinus laricio austriaca* Endl.). *Meded. Rijksboschb. Proefst.* 3, 241-28.
- Hilf, H. H. (1927). "Wurzelstudien an Waldbäumen. Die Wurzelverbreitung und ihre waldbauliche Bedeutung," 121 pp., Hannover.
- Hoffmann, G. (1960). "Untersuchungen über die symbiontische Stickstoffbindung der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.)," 147 pp. Dissertation, Humboldt-Universität, Berlin (unpublished, available in Institut für Forstwissenschaften, Eberswalde, library).
- Hoffmann, G. (1965). Möglichkeiten der Auswertung pflanzenphysiologischer Untersuchungen zur Aufstellung agrotechnisch optimaler Kulturpflége termine. *Soz. Forstwirt.* 15, 294-299.
- Hoffmann, G. (1966a). Verlauf der Tiefendurchwurzelung und Feinwurzelbildung bei einigen Baumarten. *Arch. Forstw.* 15, 825-856.
- Hoffmann, G. (1966b). The influence of soil heating on root growth of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) *Pap. 4th World For. Congr. Madrid* (in press).
- Hoffmann, G. (1966c). Auswertung von Wurzelwachstumsuntersuchungen für die praktische Behandlung von Forstbaumschulpflanzen. *Soz. Forstwirtschaft.* 16, 143-147.
- Hoffmann, G. (1966d). Jahreszeitlicher Verlauf des Wurzel und Sprosswachstums von Gehölzjungpflanzen. *Arch. Forstw.* (in press).
- Holch, H. E. (1931). Development of roots and shoots of certain deciduous tree seedlings in different forest sites. *Ecology* 12, 259-288.
- Howard, A. (1925). The effect of grass on trees. *Proc. roy. Soc., Lond.* B97, 284-321.
- Huber, B. (1924). Die Beurteilung des Wasserhaushaltes der Pflanze. *Jb. wiss. Bot.* 64, 1-120.
- Huikari, O. (1954). Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings. *Commun. Inst. for. Fenn.* 42, 1-13.
- Hunter, A. S., and Kelly, O. J. (1946). The extension of plant roots into dry soil. *Plant Physiol.* 21, 445-451.
- Joachim, H. J. (1953). "Untersuchungen über die Wurzelbildung der Pappel und die Standortansprüche von Pappelsorten," 208 pp. Deutscher Bauernverlag, Berlin.
- Jocum, W. W. (1937). Root development of young Delicious apple trees as affected by soils and by cultural treatments. *Nebraska, Univ., agric. Exp. Sta., Res. Bull.* 95, 55 pp.
- Kalela, E. K. (1950). On the horizontal roots of pine and spruce stands. I. *Acta for. fenn.* 57, 1-68.
- Kalela, E. K. (1955). Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände im Laufe der Vegetationsperiode. *Acta for. fenn.* 65, 1-42.
- Kaufman, C. M. (1945). Root growth of jack pine on several sites in the Cloquet Forest, Minnesota. *Ecology* 26, 10-23.
- Kausch, W. (1955). Saugkraft und Wassernachleitung im Boden als physiologische

- Faktoren unter besonderer Berücksichtigung des Tensiometers. *Planta* **45**, 217–263.
- Kausch, W. (1959). "Der Einfluss von edaphischen und klimatischen Faktoren auf die Ausbildung des Wurzelwerkes der Pflanzen," 83 pp. Habilitationsschrift, Technische Hochschule Darmstadt.
- Kemmer, E. (1964). Wurzelkörper von Apfelbäumen unter dem Einfluss eines jeweils vorherrschenden Faktors. *Züchter* **34**, 59–76.
- Kern, K. G., Moll, W., and Braun, H. J. (1961). Wurzeluntersuchungen in Rein- und Mischbeständen des Hochschwarzwaldes. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* **132**, 241–260.
- Kinman, C. F. (1932). A preliminary report on root growth studies with some orchard trees. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* **29**, 220–224.
- Köhnlein, F., and Vetter, H. (1953). "Ernterückstände und Wurzelbild," 138 pp. Parey, Hamburg and Berlin.
- König, J. (1820). "Sammlung praktischer Erfahrungen aus der Forstwissenschaft," Prag.
- Kokhno, N. A. (1959). On the rate of root growth in *Acer platanoides* L. *Dokl. Akad. Nauk SSSR* **127**, 459–461. (Russian.)
- Kokkonen, P. (1925). Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. *Acta for. fenn.* **25**, 1–20.
- Kolesnikow, W. A. (1962a). Untersuchungen über Gesetzmässigkeiten am Wurzelsystem bei Obstgehölzen mittels einer besonderen Methode der Probeentnahme. *Tagungsber. Dtsch. Akad. Landw. -Wiss., Berl.* **35**, 169–177.
- Kolesnikow, W. A. (1962b). Untersuchungen über das Wurzelsystem und die Ernährung der Obstgehölze. *Arch. Gartenbau* **10**, 447–459.
- Kozlowski, T. T. (1949). Light and water in relation to growth and competition of Piedmont forest tree species. *Ecol. Monogr.* **19**, 207–231.
- Krahl-Urban, J. (1951). Waldfeldbau in einem Mittelgebirgsrevier. *Schr. Reihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen* **1**, 60 pp.
- Kramer, P. J. (1950). Effects of wilting on the subsequent intake of water by plants. *Amer. J. Bot.* **37**, 280–284.
- Kramer, P. J. (1956). Roots as absorbing organs. In "Handbuch der Pflanzenphysiologie" (W. Ruhland, ed.), Vol. 3, pp. 188–214. Springer, Berlin.
- Kramer, P. J., and Decker, J. P. (1944). Relation between light intensity and rate of photosynthesis of loblolly pine and certain hardwoods. *Plant Physiol.* **19**, 350–358.
- Kramer, P. J., and Kozlowski, T. T. (1960). "Physiology of Trees," 642 pp. McGraw-Hill, New York.
- Krauss, G., and Wobst, W. (1935). Über die standörtlichen Ursachen der waldbaulichen Schwierigkeiten im vogtländischen Schiefergebiet. *Tharandt. forstl. Jb.* **86**, 169–246.
- Krauss, G., Wobst, W., Gärtner, G., and Müller, K. (1934). Humusaufgabe und Bodendurchwurzelung im Eibenstocker Granitgebiet. *Tharandt. forstl. Jb.* **85**, 290–370.
- Krauss, G., Müller, K., and Gärtner, G. (1939). Standortgemässe Durchführung der Abkehr von der Fichtenwirtschaft im nordwestsächsischen Niederland. *Tharandt. forstl. Jb.* **90**, 481–715.

- Kreutzer, K. (1961). Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden. *Forstwiss. Cbl.* **80**, 356–392.
- Kundler, P. (1956). Beurteilung forstlich genutzter Sandböden im Nordostdeutschen Tiefland. *Arch. Forstw.* **5**, 585–672.
- Kvarazhelia, T. (1931). Beiträge zur Biologie des Wurzelsystems der Obstbäume. *Gartenbauwiss.* **4**, 223–253 and 329–341.
- Ladefoged, K. (1939). Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. *Forstl. Forsøgsv. Danm.* **16**, 1–256.
- Laitakari, E. (1929). Wurzelforschung in ihrer Beziehung zur praktischen Forstwirtschaft. *Acta for. fenn.* **33**, 1–21.
- Leibundgut, H., Dafis, Sp., and Richards, F. (1963). Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. *Schweiz. Z. Forstw.* **114**, 621–646.
- Lemke, K. (1955). "Untersuchungen über das Wurzelsystem der Roteiche auf diluvialen Standortsformen," 221 pp. Dissertation, Eberswalde (unpublished, available in Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, library).
- Leonhard, O. A., and Pinckard, J. A. (1946). Effect of various oxygen and carbon dioxide concentrations on cotton root development. *Plant Physiol.* **21**, 18–36.
- Leyton, L. (1952). The effect of pH and form of nitrogen on the growth of Sitka spruce seedlings. *Forestry* **25**, 32–40.
- Leyton, L., and Rousseau, Z. (1958). Root growth of tree seedlings in relation to aeration. In "The Physiology of Forest Trees" (K. V. Thimann, ed.), pp. 467–475. Ronald Press, New York.
- Liese, J. (1926). Beiträge zur Kenntnis des Wurzelsystems der Kiefer (*Pinus silvestris*). *Z. Forst- u. Jagdw.* **58**, 129–181.
- Lindley, I. (1855). "The Theory and Practice of Horticulture," 2nd. ed., 606 pp. Longmans, Green, New York.
- Lobanow, N. W. (1960). "Mykotrophie der Holzpflanzen," 352 pp. Dtsch. Verlag Wiss., Berlin.
- Lundegårdh, H. (1957). "Klima und Boden," 5th ed., 584 pp. Fischer, Jena.
- Lyford, W. H., and Wilson, B. F. (1964). Development of the root system of *Acer rubrum* L. *Harv. For.* **10**, 17 pp.
- Lyr, H. (1963). Über die Abnahme der Mykorrhiza- und Knöllchenfrequenz mit zunehmender Bodentiefe. In "Mykorrhiza-Internationales Mykorrhizasymposium, Weimar 1960" (W. Rawald and H. Lyr, eds.), pp. 303–313. Fischer, Jena.
- Lyr, H., and Hoffmann, G. (1965). Untersuchungen über das Wurzel- und Sprosswachstum einiger Gehölze. *Silva fenn.* **117**, 1–19.
- Lyr, H., Hoffmann, G., and Dohse, K. (1963). Über den Einfluss unterschiedlicher Beschattung auf die Stoffproduktion von Jungpflanzen einiger Waldbäume. I. Mitteilung. *Flora, Jena* **153**, 291–311.
- Lyr, H., Hoffmann, G., and Engel, W. (1964). Über den Einfluss unterschiedlicher Beschattung auf die Stoffproduktion von Jungpflanzen einiger Waldbäume. II. Mitteilung. *Flora, Jena* **155**, 1–24.
- Lyr, H., Hoffmann, G., and Ritter, G. (1967). Vergleichende Untersuchungen über die Schattenfestigkeit von *Pinus silvestris* L. und *Pinus nigra* Arnold bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung. *Tagungsber. Dtsch. Akad. Landw. -Wiss., Berl.* **75**, 166–175.

- MacDougal, D. T. (1938). "Tree Growth," 240 pp. *Chronica Botanica*, Waltham, Massachusetts.
- McDougall, W. B. (1916). The growth of forest tree roots. *Amer. J. Bot.* 3, 384-392.
- McMinn, R. G. (1963). Characteristics of Douglas-fir root systems. *Canad. J. Bot.* 41, 105-122.
- McQuilkin, W. E. (1935). Root development of pitch pine with some comparative observations on shortleaf pine. *J. Agric. Res.* 51, 983-1016.
- Melzer, E. W. (1962a). Die stochastischen Beziehungen zwischen Spross- und Wurzelentwicklung des Baumes. *Arch. Forstw.* 11, 822-838.
- Melzer, E. W. (1962b). "Beiträge zur Wurzelforschung. Untersuchungen auf meliorierten und nichtmeliorierten Standorten der Oberförsterei Adorf/Vogtland," 268 pp. Dissertation, Dresden (unpublished, available in Fakultät für Forstwirtschaft, Tharandt, library).
- Mengel, V. (1965). "Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze," 2nd ed. 378 pp. Fischer, Jena.
- Meyer, F. H. (1963). Die Mykorrhizausbildung an Buche und Fichte in Mull, Moder und Rohhumus. In "Mykorrhiza—Internationales Mykorrhizasymposium, Weimar 1960" (W. Rawald and H. Lyr, eds.), pp. 285-295. Fischer, Jena.
- Michaelis, P. (1934). Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. *Jb. wiss. Bot.* 80, 169-184.
- Mitchell, J. W. (1936). Measurement of the area of attached and detached leaves. *Science* 83, 334-336.
- Möller, A. (1903). Untersuchungen über ein- und zweijährige Kiefern im märkischen Sandboden. *Z. Forst- u. Jagdwes.* 35, 257-272 and 322-338.
- Morrow, R. R. (1950). Periodicity and growth of sugar maple surface layer roots. *J. For.* 48, 875-881.
- Mothes, K. (1956). Die Wurzel der Pflanzen—eine chemische Wertstatt besonderer Art. *Abh. Dtsch. Akad. Wiss. Berl., Kl. Chemie, Geol. u. Biol.* 6, 1-16.
- Mullin, R. E. (1963). Growth of white spruce in the nursery. *For. Sci.* 9, 68-72.
- Muromtsew, J. A. (1962). Temperature and growth of fruit plants. *Fiziol. Rast.* 9, 419-424. (Russian.)
- Neuwirth, C. (1959). Der CO₂-Stoffwechsel einiger Coniferen während des Knospenaustriebes. *Biol. Zbl.* 78, 559-584.
- Nightingale, G. T. (1935). Effect of temperature on growth, anatomy, and metabolism of apple and peach roots. *Bot. Gaz.* 96, 581-639.
- Nobbe, F. (1862). Über die feine Verästelung der Pflanzenwurzeln. *Landw. Versuchsw.* 4, 212-224.
- Nutman, F. J. (1933). The root-system of *Coffea arabica*. Part II. The effect of some soil conditions in modifying the "normal" root-system. *Emp. J. exp. Agric.* 1, 285-296.
- Otto, G. (1964). Der Einfluss verschiedener Bodenfaktoren auf die Verzweigungsdichte von Gehölzwurzeln. *Tagungsber. Dtsch. Akad. Landw.-Wiss., Berl.* 65, 259-264.
- Petersen, O. G. (1898). Nogle Undersøgelser over Træernes Rodliv. *K. danske vidensk. Selsk. Forh. Oversigt II. Vidensk. Medd.* 1, 1-68. (French summary.) [German review in *Just's Bot. Jber.* 26, 609-610. (1898).]
- Petsch, G. (1955). "Untersuchungen über die Ausbildung des größeren Wurzelwerkes bei der Rotbuche auf diluvialen, lehmbeeinflussten Standorten im Gebiet um Eberswalde," 85 pp. Dissertation, Eberswalde (unpublished, available in Institut für Forstwissenschaften, Eberswalde, library).
- Polanskaja, L. S. (1962). Peculiarities of development of the root system of trees under arid conditions in Uzbekistan. *Lesn. Hoz.* 15, 40-44. (Russian.)
- Pommerleau, R., and Lortie, M. (1962). Relationships of dieback, to the rooting depth of white birch. *For. Sci.* 8, 219-224.
- Preston, R. J. (1942). Roots of juvenile lodgepole pine. *J. For.* 40, 966-967.
- Prjanschnikow, D. N. (1952). "Der Stickstoff im Leben der Pflanzen und im Ackerbau der UdSSR," 203 pp. Akademie Verlag, Berlin.
- Proebsting, E. (1943). Root distribution of some deciduous trees in a California orchard. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* 43, 1-4.
- Pusztai, A. (1963). A műanyagfólia's talajtakarás hatása a talajra és növényre (Soil and plant as affected by plastic foil mulching). *Agrokém. és Talajtán* 12, 351-360. (English summary.)
- Rachtejenko, J. N. (1952). "The root systems of trees and shrubs," 105 pp. Golebumisdat, Moscow. (Russian.)
- Reed, J. F. (1939). Root and shoot growth of shortleaf and loblolly pines in relation to certain environmental conditions. *Bull. Duke [Univ.] Sch. For.* 4, 1-52.
- Resa, F. (1877). "Ueber die Periode der Wurzelbildung," 37 pp. Inaugural Dissertation, Carthaus, Bonn. [same information in *Forstl. Bl.* 15, 321-331 (1878).]
- Richardson, S. D. (1953a). Studies of root growth in *Acer saccharinum* L. I. The relation between root growth and photosynthesis. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wetenschap.* C56, 185-193.
- Richardson, S. D. (1953b). Studies of root growth in *Acer saccharinum* L. II. Factors affecting root growth when photosynthesis is curtailed. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wetenschap.* C56, 346-353.
- Richardson, S. D. (1956). On the role of the acorn in root growth of American oak seedlings. *Meded. Land. Hogesch. Wageningen* 56, 1-18.
- Richardson, S. D. (1958). Bud dormancy and root development in *Acer saccharinum*. In "The Physiology of Forest Trees," (K. V. Thimann, ed.), pp. 409-425. Ronald Press, New York.
- Ritter, G., and Lyr, H. (1965). The significance of mycorrhizal fungi for the utilization of different sources of phosphate by *Pinus silvestris* L. *Proc. Symp. Relationships Soil Microorganisms Plant Roots, Prague*, 1963 pp. 277-282.
- Römer, T., and Hilkenbäumer, F. (1936). Wurzelstudien an 25-jährigen Kernobstbäumen. *KühnArchiv.* 42, 281-303.
- Römer, T., and Hilkenbäumer, F. (1937). Weitere Beobachtungen über das Wurzelbild 20-jähriger Birnen und Sauerkirschenbüsche. *KühnArchiv.* 44, 105-120.
- Rogers, W. S. (1935). Root Studies. VI. Apple roots under irrigated conditions, with notes on use of soil moisture meter. *J. Pomol.* 13, 190-201.
- Rogers, W. S. (1939). Apple root growth in relation to rootstock, soil, seasonal and climatic factors. *J. Pomol.* 17, 99-130.
- Rogers, W. S., and Vyvyan, M. C. (1928). The root systems of some 10 year old apple trees on two different rootstocks and their relation to tree performance. *Ann. Rep. E. Malling Res. Sta.* pp. 31-34.
- Rogers, W. S., and Vyvyan, M. C. (1934). Root studies V. Rootstock and soil effect on apple root system. *J. Pomol.* 12, 110-150.

- Romberger, J. A. (1963). Meristems, growth and development in woody plants. *Tech. Bull. U.S. For. Serv.* 1293, 214 pp.
- Roze, E. (1937). Priezu un egļu stadiu dzinumsakņu garuma pieaugšanas gaita. *Rep. Latv. For. Res. Sta.* 7, 1-76. (German summary.)
- Rubner, K. (1960). "Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues," 5th ed., 620 pp. Neuman, Radebeul and Berlin.
- Sawage, E. F., and Cowart, F. (1942). The effect of pruning upon the root distribution of peach trees. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* 41, 67-70.
- Schimper, A. F. W., and Faber, F. C. V. (1935). "Pflanzengeographie," 901 pp. Fischer, Jena.
- Schwarz, F. (1892). Über den Einfluss des Wasser- und Nährstoffgehaltes des Sandbodens auf die Wurzelentwicklung von *Pinus silvestris* im ersten Jahr. *Z. Forst- u. Jagdwes.* 24, 88-113.
- Scully, N. J. (1942). Root distribution and environment in a maple-oak forest. *Bot. Gaz.* 103, 492-517.
- Seeliger, I. (1956). Über die Kultur isolierter Wurzeln der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). *Flora, Jena* 144, 47-83.
- Seeliger, I. (1959). Über die Bildung wurzelbürtiger Sprosse und das Wachstum isolierter Wurzeln der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). *Flora, Jena*, 148, 218-254.
- Shultz, H. L. (1927). Drought resistance and soil moisture. *Ecology* 8, 145-147.
- Shirley, H. L. (1929). The influence of light intensity and light quality upon the growth of plants. *Amer. J. Bot.* 16, 354-390.
- Simanjuk, A. P. (1950). The structure of pine root systems in the forests around Moscow. *Trud. Inst. Usa* 3, 125-192. (Russian.)
- Slankis, V. (1949). Einfluss der Temperatur auf das Wachstum der isolierten Wurzeln von *Pinus silvestris*. *Physiol. Plant., Copenhagen* 2, 131-137.
- Smith, P. F. (1957). Studies on the growth of citrus seedlings with different forms of nitrogen in solution cultures. *Plant. Physiol.* 32, 11-15.
- Stevens, C. L. (1931). Root growth of white pine (*Pinus strobus* L.). *Bull. Yale Univ. Sch. For.* 32, 1-62.
- Tew, R. K., Taylor, S. A., and Ashroft, G. L. (1963). Influence of soil temperature on transpiration under various environmental conditions. *Agron. J.* 55, 558-560.
- Theophrastus (372-284 B. C.). "De causis plantarum." [Book One, Text, critical apparatus, translation and commentary (R. E. Dengler, ed.) A thesis in Greek presented to the faculty of the graduate school, Philadelphia, 1927.]
- Tolsky, A. P. (1901). The influence of different temperatures on the growth of roots. *Zh. Opintu. Agron.* 2, 733-744. (Russian.)
- Tolsky, A. P. (1904). Concerning the influence of the soil type upon the structure of the pine root. *Trud. Oput. Lesnich.* 2 (Russian.)
- Torrey, J. G. (1956). Chemical factors limiting lateral root formation in isolated pea roots. *Physiol. Plant. Copenhagen* 9, 370-388.
- Trenel, M. (1932). Untersuchungen über das Laubholzsterben bei Wesel. *Z. Forst- u. Jagdw.* 46, 488-494.
- Turner, L. M. (1936). Root growth of seedlings of *Pinus echinata* and *Pinus taeda*. *J. agric. Res.* 53, 145-149.
- Turner, W. (1922). Studies of the mechanism of the physiological effects of certain mineral salts in altering the ratio of top growth to root growth in seed plants. *Amer. J. Bot.* 9, 415-445.
- Ulrich, J. M. (1962). Cultural requirements for growth of excised ponderosa pine roots. *Physiol. Plant., Copenhagen* 15, 59-71.
- Vater, H. (1927). Die Bewurzelung der Kiefer, Fichte und Buche. *Tharandt. forstl. Jb.* 78, 65-85.
- Vogl, M., and Kemmer, C. (1961). Untersuchungen zur Winterruhe bei Pappeln. *Arch. Forstw.* 10, 872-895.
- Voigt, G. K. (1962). The role of carbon dioxide in soil. In: "Tree Growth" (T. T. Kozlowski, ed.), pp. 205-220. Ronald Press, New York.
- Volk, N. J. (1934). The fixation of potash in difficultly available form in soils. *Soil Sci.* 37, 267-287.
- von Dieskau, C. J. F. (1776). "Das regelmässige Versetzen von Bäumen in Wäldern und Gärten", 161 pp. Meiningen, Hanisch.
- von Mohl, H. (1862). Einige anatomische und physiologische Bemerkungen über das Holz der Baumwurzeln. *Böt. Ztg.* 20, 313-319 and 321-327.
- Vorobieva, T. G. (1961). The dynamics of growth of birch roots under various ecological conditions. *Obsc. Ispyt. Prir., Bjll. Otd. Biol., Moscow* 66, 89-96. (Russian.)
- Wagenhoff, A. (1938). Untersuchungen über die Entwicklung des Wurzelsystems der Kiefer auf diluvialen Sandböden. *Z. Forst- u. Jagdw.* 70, 449-494.
- Wagenknecht, E. (1941). Über den Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf das Wachstum von Kiefernkulturen. *Z. Forst- u. Jagdw.* 73, 297-342 and 369-399.
- Wagenknecht, E. (1955). Wurzeluntersuchungen und ihre Bedeutung für standortgerechten Waldbau. *Arch. Forstw.* 4, 397-406.
- Wagenknecht, E. (1958). Waldbauliche Eigenschaften und Behandlung der Douglasie. In: "Die Douglasie und ihr Holz" (K. Göhre, ed.), pp. 241-306. Akademie Verlag, Berlin.
- Wagenknecht, E. (1960). Beiträge zur Kenntnis der Wurzel Ausbildung verschiedener Bestockungen. *Mitt. StForstverw. Bayern.* 31, 252-274.
- Wagenknecht, E., and Belitz, G. (1959). "Die Fichte im nordwestdeutschen Flachland," 121 pp. Neumann, Radebeul and Berlin.
- Weaver, G. E., and Darland, R. W. (1949). Soil-root relationship of certain native grasses in various soil types. *Ecol. Monogr.* 19, 303-338.
- Werlich, I., and Lyr, H. (1957). Über die Mycorrhizaubildung von Kiefer (*Pinus silvestris* L.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf verschiedenen Standorten. *Arch. Forstw.* 6, 1-23.
- Whittaker, R. H., Cohen, N., and Olsen, J. S. (1963). Net production relations of three tree species at Oak Ridge, Tenn. *Ecology* 44, 806-810.
- Wiedemann, E. (1927). Der Wurzelbau älterer Waldbäume. *Forstarchiv* 3, 229-233.
- Wieler, A. (1894). Über die Periodizität in der Wurzelbildung der Pflanzen. *Forstwiss. Cbl.* 16, 333-349.
- Wiggans, C. C. (1936). The effect of orchard plants on subsoil moisture. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.* 33, 103-107.
- Wilcox, H. (1954). Primary organization of active and dormant roots of noble fir, *Abies procera*. *Amer. J. Bot.* 41, 812-821.

- Wittich, W. (1947). "Die heutigen Grundlagen der Holzartenwahl," 2nd. Ed. 67 pp. Schaper Verlag, Hannover.
- Wood, O. M. (1939). Relation of the root system of a sprouting stump in *Quercus montana* Will. to that of an undisturbed tree. *J. For.* 37, 309-312.
- Woodroof, J. G., and Woodroof, N. C. (1934). Pecan root growth and development. *J. agric. Res.* 49, 511-530.
- Yeatman, C. W. (1955). Tree root development on upland heaths. *Bull. For. Comm., Lond.* 21, 72 pp.
- Zielaskowski, X. (1898). Standortsuntersuchungen. *Z. Forst- u. Jagdw.* 30, 139-157.
- Zöttl, H. (1964). Düngung und Feinwurzelverteilung in Fichtenbeständen. *Mitt. StForstverw. Bayern.* 34, 333-342.

Successions of Organisms in Discoloration and Decay of Wood

ALEX L. SHIGO

Northeastern Forest Experiment Station, Forest Service, U.S. Department
of Agriculture, Durham, New Hampshire

I. Introduction	238
II. Historical and Background Information	239
III. Basic Information on Ecology and Physiology Pertinent to Successions	241
A. Ecology	241
B. Physiology	243
IV. Successions of Organisms in Discoloration and Decay Processes in Living Trees, Especially Hardwoods	245
A. General Discussion	245
B. Heartwood and Related Tissues	247
C. Discoloration and Decay in <i>Populus</i> spp. with Special Reference to <i>Fomes igniarius</i>	249
D. Successions Following Wounding	253
E. Organisms Associated with Water-Soaked Discolorations	259
V. Successions of Organisms in Discoloration and Decay Processes in Living Trees, Especially Conifers	261
A. Successions Involving <i>Stereum sanguinolentum</i>	261
B. Successions Involving <i>Fomes annosus</i>	262
C. Successions Involving Root Organisms Other Than <i>Fomes annosus</i>	264
VI. Successions in Trees Weakened by Parasites	266
A. Organisms Following Canker Diseases	266
B. Organisms Following Wilts	270
C. Organisms Following Rust Diseases	271
D. Organisms Following Mistletoes	271
VII. Successions in Trees Killed by Various Agents	272
A. Organisms Following Insects	273
B. Organisms Following Fire	275
C. Organisms Following Windthrow	276
D. Organisms Decomposing Slash and Litter	276
VIII. Successions in Pulpwood, Pulp Chips, and Wood Products	279