

MÄNNYN JA KUUSEN SIEMENTEN GAMMASÄTEILY- HERKKYYTEEN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ

TAPIO LEHTINIEMI

SUMMARY:

ON FACTORS AFFECTING GAMMA-IRRADIATION SENSITIVITY OF SCOTS PINE AND NORWAY SPRUCE SEEDS

Saapunut toimitukselle 1977-02-23

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää kasviuoneidätyksin, millä tavalla alkuperä, kosteus sekä kostutuskäsittelyn ja säteilytyksen välinen aikaviive vaikuttavat gammasäteilytettyjen männyn ja kuusen siementen idäntään. Säteilylähteenä oli $^{60}_{27}\text{Co}$. Alkuperät olivat: mänty Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomesta sekä kuusi Etelä- ja Pohjois-Suomesta. Kosteusasteina olivat: kuivatut, varastokuivat, kostutetut ja liotetut siemenet. Aikaviiveen pituus oli 0–2 vrk ja säteilyannos 0–8000 rad¹).

Pienet säteilyannokset (250–1000 rad) yleensä stimuloivat lievästi idäntää, mutta poikkeuksiakin oli. Varastokuivat ja kostutetut siemenet kestivät kuivattuja ja liotettuja siemeniä paremmin gammasäteilytystä. Pohjois-suomalaiset männyn ja kuusen siemenet vaurioituivat eteläisiä alkuperiä herkemmin säteilytyksessä. Kokeilla aikaviiveillä ei ollut merkitystä säteilyherkkyyden suhteen.

1. JOHDANTO

Kun kirjoittaja suoritti gammasäteilytyks-kokeita v. 1975 (LEHTINIEMI 1976) kotimaisen puulajien siemenillä, eräissä idätyssarjoissa — lähinnä lehtipuilla — oli havaittavissa viitteitä idännän stimuloitumisesta pienillä säteilyannoksilla. Tämä lievä efekti näkyy mainitun tutkimuksen taulukoiden 2 ja 3 keskiarvotiedoissa, mutta ei kuitenkaan lasketuissa regressiomalleissa. Jo aiemmin VAARAMA (1968 ss. 18–22) oli esitellyt

raportissaan useitakin omia ja muiden tutkijoiden samantapaisia yleissäännöistä poikkeavia tuloksia. Esikokeita päätettiin jatkaa männyn ja kuusen osalta lisävalaistuksen saamiseksi erityisesti hyvin pienten säteilyannosten vaikutuksesta idäntään. Samalla tarjoutui tilaisuus hankkia tietoa (1) siementen kosteuden ja (2) alkuperän sekä (3) kostutuskäsittelyn ja säteilytyksen välisen aikaviiveen pituuden vaikutuksesta γ -säteilyherkkyyteen eli kääntäen sanottuna siementen kykyyn kestää γ -säteilytystä. Näin muodostui kolmen kokeen sarja, joka

¹) rad = radia (röntgen absorbed dose) tässä tutkimuksessa

jatkoissa selostetaan tuloksineen kukin erikseen tarkemmin.

Edellä mainitussa kirjoittajan aiemmassa tutkimuksessa on luotu lyhyt yleiskatsaus radiobiologiaan ja kaikkiin kasvisolujen säteilyherkkyyteen vaikuttaviin tekijöihin, joten tällaista yhteenvetoa ei katsota tarpeelliseksi toistaa nyt.

Tutkimus on tehty Helsingin yliopiston metsäharjoitteluasemalla virkatyönä. Kokeiden suunnittelussa ja käytännön toteutuksessa avusta-

silloinen maat. ja metsät. yo. Antti Koskimäki. Tarvittavat idätykset suoritettiin Metsänjalostussäätiön Haapastensyrjän taimitarhalla Läyliäisissä.

Käsi- ja oppikirjoituksen ovat tarkastaneet dos., FT Veikko Koski Metsäntutkimuslaitokselta ja Helsingin yliopiston metsänhoitaja, MMT Juhani Sarasto. Olen ottanut varteen heidän tekemänsä korjausehdotukset.

Pyydän kiittää edellä mainittuja henkilöitä ja Metsänjalostussäätiötä saamastani tuesta.

2. KOKEET JA NIIDEN TULOKSET

21. Siemenmateriaali, säteilytykset, idätykset ja inventoinnit

Kokeisiin käytettyjen siementen alkuperä- ja itävyytiedot käyvät ilmi taulu-

kosta 1 ja kuvasta 1. Männyn ja kuusen jako alkuperiin taulukon 1 esittämällä tavalla vastaa käsi- ja oppikirjoissa usein käytettyä jaottelua maantieteellisiin alkuperiin tai ilmastollisiin rotuihin. Kuten

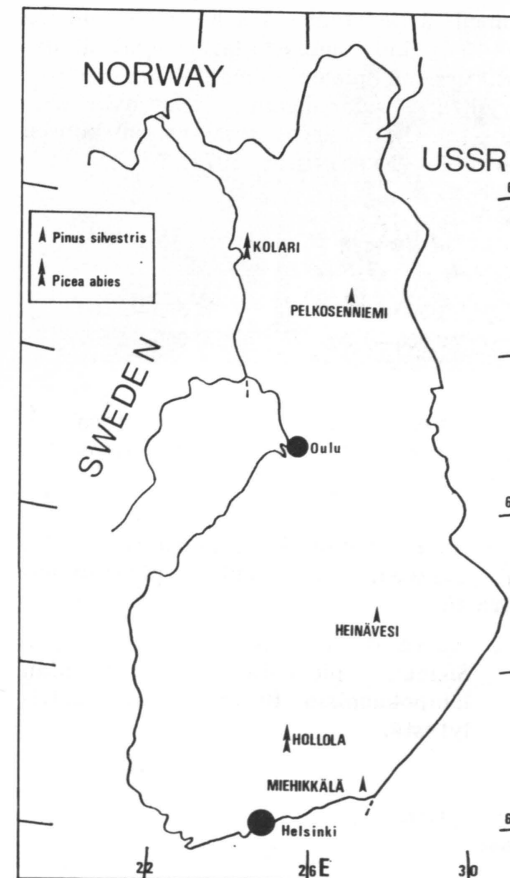
Taulukko 1. Tietoja siementen alkuperästä ja itävyydestä (n = 400 siementä).
Table 1. Information of the origin and germination of seeds (n = 400 seeds).

Puulaji ja alkuperä <i>Tree species and origin</i>	Siemenereän tunnus <i>Symbol of seed lot</i>	Proveniensi <i>Provenance</i>	Itävyyssprosentti <i>Germination percentage</i>		
			röntgenkuvan mukaan ¹ <i>according to X-ray analysis¹</i>	10 vrk:n idätyksen jälkeen ² <i>after 10 days' germination²</i>	36...40 vrk:n idätyksen jälkeen ² <i>after 36...40 days' germination²</i>
<i>Pinus silvestris</i>					
Etelä-Suomi <i>South Finland</i>	E 25 ³	Miehikkälä	97	57	73
Keski-Suomi <i>Central Finland</i>	K 1001 ³	Heinävesi	99	85	89
Pohjois-Suomi <i>North Finland</i>	73-P 4903	Pelkosenniemi	98	4	66
<i>Picea abies</i>					
Etelä-Suomi <i>South Finland</i>	68-E 3111	Hollola	99	0	81
Pohjois-Suomi <i>North Finland</i>	75-Kolari	Kolari	78	13	56

¹ Vrt. — cf. SIMAK & GUSTAFSSON 1953, MÜLLER—OLSEN et al. 1956.

² Varastokuivien siementen itävyys muovihuoneessa — *germination percentage of storage-dry seeds in the plastic green house.*

³ Kerätty ennen vuotta 1967 — *collected before the year 1967.*



Kuva 1. Kokeisiin käytettyjen siementen alkuperät.
Fig. 1. Origins of seeds used in this research.

tunnettua ainakin osa Pohjois-Suomessa kasvavista kuusista voidaan katsoa kuuluviksi myös lajiin *Picea obovata* (Ledeb.). Toisaalta mainittua lajia voidaan pitää myös kotimaisen kuusen alalajina (ks. SARVAS 1964 ss. 223—225).

Kutakin alkuperää edustavat siemenet oli kerätty yhdestä tunnetusta kantapuusta. Siemenet olivat siis alkuperittäin puolisisaruksia. Tällä tavalla pyrittiin pienentämään hajontoja ja vähentämään toistojen tarvetta. Toisaalta nyt on huomattava, että siemenereät eivät muodosta kovin edustavaa näytettä ao. kliinistä. Hyvä vaihtoehto olisi ilmeisesti ollut kerätä siemeniä kullakin alueella esim. kymmenestä tunnetusta puusta ja sekoittaa sitten näytteet keskenään. Resurssien vähäisyyden vuoksi

tämä ei tällä kertaa ollut kuitenkaan mahdollista käytännössä.

Säteilytykset suoritti laboratorioinsinööri TIMO AUTIO Helsingin yliopiston radiokeemian laitoksella 26.—27. 05. 1976. Säteilylähteenä oli ⁶⁰/₂₇ Co-isotooppi, annosnopeutena 2,4 tai 8 krad tunnissa (akuutti säteilyty) ja säteilytyslämpötilana 20° C.

Kaikissa idätyksissä substraattina oli steriloitu kvartsihiekkä turveruukuissa. Hiekan pH oli 4,9 (vesilietemääritys) ja raekoko 0,3—0,5 mm. Idätys tapahtui Metsänjalostussäätiön Haapastensyrjän metsänjalostuskeskuksessa muovihuoneessa, jossa päivälämpötila oli normaalisti 20...30°C ja yöllä lämpötila oli alempi. Lämpötilaa oli mahdollista säädellä vain tuuletuksen avulla. Keinovaloa ei käytetty. Kastelu suoritettiin normaalilla vesijohtovedellä. Ravintoliuosta ei annettu.

Koeysikön koko oli 100 siementä ja toistoja oli aina 3 kpl. Kaikkiaan idätettiin 36 000 siementä ja jatkokasvatukseen valittiin n. 1 200 sirkkainta.

Inventoinnit suoritettiin 10 (itämistarmo) ja 36...40 vrk:n (itämiskyky) kuluttua idätyksen aloittamisesta. Itäneiksi katsottiin 'karuista' idätysolosuhteista johtuen jo siemenet, joihin oli kehittynyt siemenkuoresta ulos tunkeutunut lyhyempi tai pitempi elävä itu (vrt. ISTA:n normit).

22. Koe 1. Säteilyannoksen ja siementen kosteuden vaikutus itämisprosenttiin

Tämän kokeen avulla pyrittiin selvittämään, (1) millä tavalla säteilyannoksen lisääminen vaikuttaa Keski-Suomen yhden kuusen siementen itävyyteen sekä (2) noudattaako siementen kosteuden ja itämisprosentin välinen regressio optimikäyrän muotoa.

Yleinen sääntö puista puhuttaessa on, että kuta suuremman säteilyannoksen siemenet ovat saaneet, sitä hitaammin ne itävät, sitä alhaisemmaksi jää itämisprosentti ja sitä hitaampaa on taimien kasvu jatkoissa. Kuitenkin, kuten tämän kirjoituksen johdannossa todettiin, joskus pienehköillä annoksilla voidaan saada positiivisiakin tuloksia nimenomaan idännässä. Siementen kosteuden vaikutuksesta säteilyherkkyyteen on aikanaan esitetty ristiriitaisia tuloksia. Sen

jälkeen kun saatiin selville, että vesipitoisuus vaikuttaa idäntään säteilyn tuottamien vapaiden radikaalien kautta, on päässyt vallalle optimikäyrä-ajattelu. Kotimaisille havupuille ei optimia olla vielä tiettävästi esitetty. *Pinus densifloran* (Sieb. et Zucc.)

siemenistä tiedetään, että kosteuden ollessa 12–13 % (kuivapainosta laskettuna) säteilyherkkyys on pienimmillään (OHBA 1961). Kirjoittaja sai aiemmin seuraavanlaiset LD₅₀- ja LD₁₀₀-arvot männyn ja kuusen siemenille (LEHTINIEMI 1976):

Puulaji ja kosteus	LD ₅₀ , rad	LD ₁₀₀ , rad
mänty (Keski-Suomi)		
– varastokuivat siemenet	1 500–2 000	2 500–3 000
– liotetut (1 vrk) »	2 500–3 000	4 000–4 500
kuusi (Etelä-Suomi)		
– varastokuivat siemenet	1 000–1 500	2 000–2 500
– liotetut (1 vrk) »	4 000–4 500	5 500–6 000

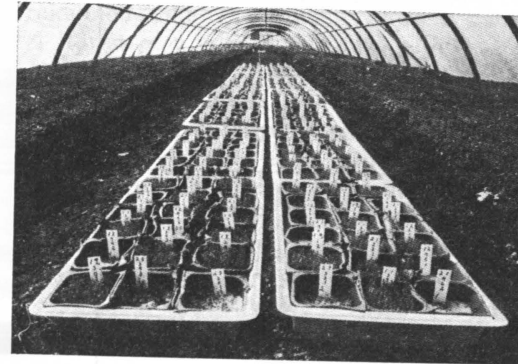
Koejärjestelyt. Nyt suoritetuissa kokeissa säteilyannokset olivat: 0, 250, 500, 1000, 2000, 4000 ja 8000 radia. Siementen kosteudet olivat (taulukko 2): mänty 3,7, 7,4, 7,9 ja 43,5 sekä kuusi 4,3, 8,3, 10,3 ja 30,1 prosenttia kuivapainosta laskettuna. Kosteuden säätelyn aikana siemenet olivat

suljettuina muoviputkiin, joissa ne vietiin säteilytykseen. Eri kosteuksiin päästiin seuraavasti:

- a. Kuivatut siemenet
Siemeniä pidettiin 12 tunnin ajan lämpökaapissa 40° C:ssa ennen säteilytystä.

Taulukko 2. Siementen kosteusprosentit ennen gammasäteilytystä.
Table 2. Moisture content of seeds before gamma-irradiation.

Puulaji ja rotu Tree species and race	Kuivatut siemenet Dried seeds		Varastokuivat siemenet Storage-dry seeds		Kostutetut siemenet Moistened seeds		Liotetut siemenet Soaked seeds	
	kosteus % – moisture content %							
	tuore-painosta of fresh weight	kuiva-painosta of dry weight	tuore-painosta of fresh weight	kuiva-painosta of dry weight	tuore-painosta of fresh weight	kuiva-painosta of dry weight	tuore-painosta of fresh weight	kuiva-painosta of dry weight
<i>Pinus silvestris</i>								
Etelä-Suomi					8,2	8,9		
South Finland								
Keski-Suomi	3,6	3,7	6,9	7,4	7,3	7,9	30,3	43,5
Central Finland								
Pohjois-Suomi					8,2	8,9		
North Finland								
<i>Picea abies</i>								
Etelä-Suomi	4,2	4,3	7,7	8,3	9,3	10,3	23,1	30,1
South Finland								
Pohjois-Suomi					7,8	8,5		
North Finland								



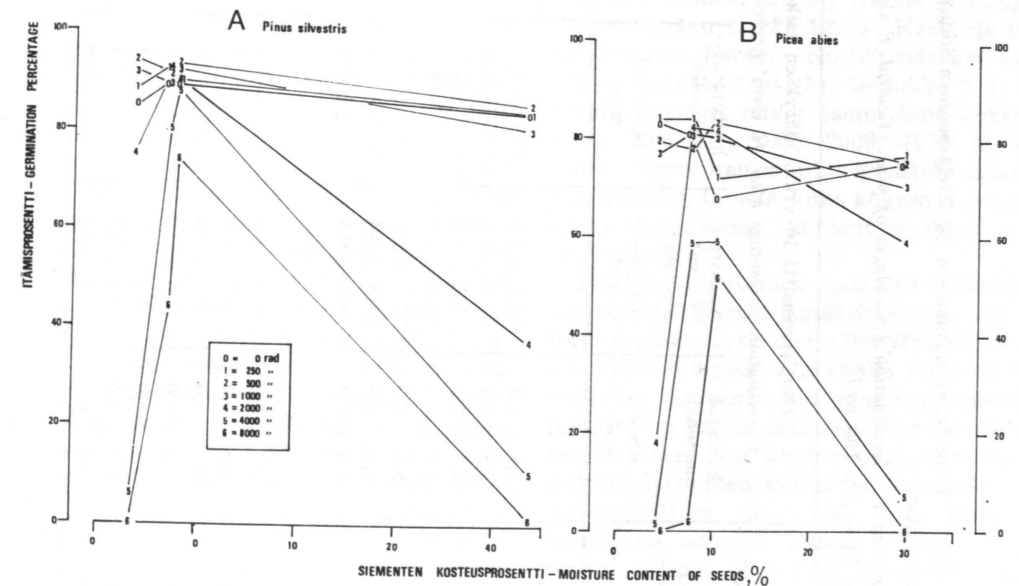
Kuva 2. Siemenet itämässä muovihuoneessa Haapastensyrjän metsänjalostuskeskuksessa. Kuktakin koeyksikköä koskevat tiedot on koodattu valkoisiin muovilappuihin. Koeyksiköiden järjestys on arvottu.

Fig. 2. Seeds germinating in a plastic greenhouse at the Forest Breeding Center at Haapastensyrjä. The code numbers written on the white plastic markers contain information about each experimental lot. The experiments have been laid out randomly.

- b. Varastokuivat siemenet
Siemenet siirrettiin kylmävarastosta muoviputkiin n. 24 h ennen säteilytystä. Laboratorion lämpötila oli n. 20° C.
- c. Kostutetut siemenet
Suljettuihin petrimaljoihin sijoitettiin vettä pieniin kuppeihin. Siemenet saivat imeä kosteutta petrimaljojen ilmasta n. 24 tunnin ajan ennen säteilytystä. Laboratorion lämpötila oli edellä mainittu n. 20° C.
- d. Liotetut siemenet
Siemeniä liotettiin 24 h ennen säteilytystä tislatussa vedessä muoviputkissa. Liotusveden lämpötila oli n. 20° C.

Säteilytys kesti 7,5–80 minuuttia, jonka jälkeen kustakin koeputkesta laskettiin 3 × 100 siemenen erät idätysalustoille ja loput siemenet vietiin lämpökaappiin kosteusprosenttien määrittystä varten (105° C, 24 h). Idätys aloitettiin 26.05.1976.

Tulokset. Kokeen tulokset on esitetty taulukossa 3 ja kuvassa 3. Säteilytyksen idäntää hidastava vaikutus tuli männyllä selvähkösti näkyviin. Jostakin tuntemattomasta syystä ensimmäisten kymmenen vuo-



Kuva 3. Keskimääräinen itämisprosentti (36...40 vrk) siementen kosteuden ja säteilyannoksen funktiona.

Fig. 3. Mean germination percentage (36...40 days) as a function of irradiation dose and moisture content of the seeds.

Taulukko 3. Koe 1. Keski-Suomen männyn ja Etelä-Suomen kuusen siementen itämisprosentit säteilyannoksen ja kosteuden funktiona ($n = 3 \times 100$ siementä).
 Table 3. Experiment 1. Germination percentages of pine (Central Finland) and spruce (South Finland) seeds as a function of irradiation dose and moisture content ($n = 3 \times 100$ seeds).

Puulaji ja säteilyannos rad <i>Tree species and irradiation dose rad</i>	Itämisprosentti 10 vrk:n idätyksen jälkeen <i>Germination percentage after 10 days' germination</i>				Itämisprosentti 36...40 vrk:n idätyksen jälkeen <i>Germination percentage after 30...40 days' germination</i>			
	kuivatut siemenet <i>dried seeds</i>	varasto-kuivat siemenet <i>storage dry seeds</i>	kostutetut siemenet <i>moistened seeds</i>	liotetut siemenet <i>soaked seeds</i>	kuivatut siemenet <i>dried seeds</i>	varasto-kuivat siemenet <i>storage-dry seeds</i>	kostutetut siemenet <i>moistened seeds</i>	liotetut siemenet <i>soaked seeds</i>
<i>Pinus sylvestris</i>								
0	67,7 ± 5,2	84,7 ± 5,0	79,0 ± 5,2	77,7 ± 1,2	85,3 ± 2,2	89,0 ± 2,1	88,7 ± 1,2	82,7 ± 3,7
250	73,3 ± 6,4	77,5 ± 6,1	68,3 ± 2,9	77,3 ± 5,4	88,0 ± 0,6	92,0 ± 0,8	90,0 ± 0,7	83,0 ± 3,8
500	56,3 ± 7,4	74,7 ± 4,8	60,0 ± 2,0	69,6 ± 2,7	93,7 ± 0,9	90,0 ± 2,0	92,7 ± 1,8	85,0 ± 2,1
1 000	40,3 ± 3,0	52,0 ± 5,2	66,3 ± 4,8	57,6 ± 4,1	91,3 ± 3,2	88,7 ± 2,4	91,7 ± 0,9	79,7 ± 2,2
2 000	5,3 ± 2,9	52,3 ± 4,6	43,5 ± 6,1	2,7 ± 0,7	75,0 ± 1,0	92,3 ± 1,8	90,0 ± 2,6	37,0 ± 9,7
4 000	0,0 ± 0,0	16,3 ± 6,4	46,0 ± 7,2	0,0 ± 0,0	6,3 ± 2,2	80,0 ± 4,2	87,7 ± 3,4	7,7 ± 0,4
8 000	0,0 ± 0,0	0,7 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	44,0 ± 4,0	74,3 ± 1,8	0,7 ± 0,6
<i>Picea abies</i>								
0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	83,0 ± 2,6	80,7 ± 2,4	81,0 ± 2,9	75,0 ± 0,6
250	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	84,0 ± 2,5	83,7 ± 1,6	82,3 ± 2,6	77,0 ± 1,0
500	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	79,0 ± 2,0	78,0 ± 3,8	82,7 ± 1,9	75,0 ± 1,5
1 000	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	76,7 ± 6,1	81,3 ± 3,8	80,0 ± 2,3	70,7 ± 2,7
2 000	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	18,3 ± 4,4	81,7 ± 1,8	81,0 ± 1,0	58,7 ± 3,9
4 000	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,7 ± 0,4	59,3 ± 3,7	69,7 ± 8,7	7,3 ± 3,3
8 000	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	1,3 ± 0,9	51,7 ± 3,8	0,0 ± 0,0

rokauden aikana yksikään kuusen siemen ei itänyt.

Lopullista 36...40 vrk:n kuluttua idätyksen aloittamisesta todettua itämisprosenttia tarkasteltaessa havaitaan, että säteilyannokset 250–1000 radia ovat yleisesti stimuloineet molempien puulajien idäntää lievästi.

Männyn siemenet kestivät säteilytystä

parhaiten kostutusasteina ja kuusen siemenet joko varasto- tai kostutusasteina. Jos havaintojen perusteella lasketaan regressiokäyrien yhtälöt, niin niiden mukaan molempien puulajien säteilyherkkyys on pienimmillään kosteusprosentin ollessa kymmenen ja kahdenkymmenen välillä.

LD₅₀- ja LD₁₀₀-annoksiksi voidaan arvioida eri tapauksissa seuraavat luvut:

Puulaji ja kosteus	LD ₅₀ , rad	LD ₁₀₀ , rad
mänty (Keski-Suomi)		
– kuivatut siemenet	3 000–3 500	4 000–4 500
– varastokuivat »	8 000	> 8 000
– kostutetut »	> 8 000	> 8 000
– liotetut »	1 500–2 000	8 000
kuusi (Etelä-Suomi)		
– kuivatut siemenet	2 000–2 500	4 000
– varastokuivat »	3 000–3 500	8 000
– kostutetut »	> 8 000	> 8 000
– liotetut »	3 000–3 500	4 000–4 500 (?)

23. Koe 2. Siementen alkuperän vaikutus säteilyherkyyteen

Toisella kokeella pyrittiin selvittämään, onko männyn ja kuusen eri kliineistä kerättyjen yksilöiden välillä eroja säteilyherkyyden suhteen, jos siemenet ovat kosteudeltaan yhtenäisiä.

On olemassa eräitä tutkimustuloksia, jotka osoittavat, että säteilyherkkyys vaihtelee lajin sisällä provenienssin mukaan. Selvimät tulokset lienee saatu douglaskuusella (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). On osoitettu, että rannikon klinin (*var. viridis* (Schwer.) Aschers. et Graebn.) siemenet kestävät selvästi huonommin gamma-säteilyä kuin sisämaan klinin (*var. glauca* (Mayr) Schneid.). Syynä tähän on ilmeisesti mm. rannikon klinin tumien suurempi koko sisämaan alkuperään verrattuna. Tässä yhteydessä on keskusteltu myös mahdollisuudesta käyttää säteilyherkyyden eroja douglaskuusen taksonomian tutkimiseen (EL-LAKANAY & SZIKLAI 1970 a, b). Kotimaisista puulajeista ei löydy kirjallisuudesta mitään tietoja säteilyherkyyden provenienssin mukaisesta vaihtelusta omassa maassamme.

Koejärjestelyt. Kokeisiin otettiin mukaan siemenet kaikista viidestä ajateltavissa olevasta rodusta: Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomen mänyt sekä Etelä- ja Pohjois-Suomen kuuset. Kosteusasteeksi valittiin kostutusaste (ks. taulukko 2 s. 72). Säteilyannokset olivat samat kuin kokeessa 1: 0, 250, 500, 1000, 2000, 4000 ja 8000 radia. Siementen muukin käsittely suoritettiin samalla tavalla kuin kokeen 1 vastaavassa tapauksessa ja idätys alkoi myös 26. 05. 1976.

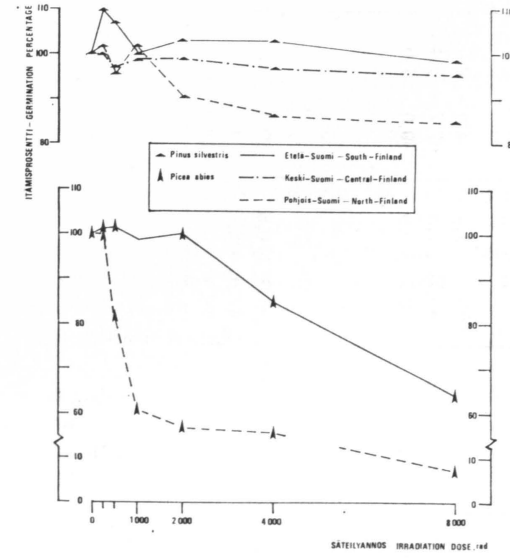
Tulokset. Kokeessa saatujen itämisprosenttien keskiarvot keskivirheineen on esitetty taulukossa 4. Kun säteilyttämättömien siementen itämiskyvyn sisällä on melkoista hajontaa provenienssin mukaan, taulukon luvuista on vaikea saada suoraan ulos tutkittavaa asiaa. Jos kunkin provenienssin säteilyttämättömien siementen lopullisten itämisprosenttien (36...40 vrk) keskiarvo merkitään sadaksi (esim.: mänty, Etelä-Suomi, 0 rad, 73 = 100) ja säteilytettyjen itämisprosentit oikaistaan vastaavasti, alkuperiä on helpompi verrata. Näin on menetytelyä kuvaa 4 laadittaessa.

Nyt havaitaan, että Pohjois-Suomen mänty ei kestä aivan yhtä hyvin säteilytystä

Taulukko 4. Koe 2. Siementen alkuperän vaikutus gammasäteilyherkkyyteen. Siemenet kostutettu ennen säteilytystä ($n = 3 \times 100$ siementä).

Table 4. Experiment 2. The effect of the origin on the gamma radiation sensitivity of the seeds. Seeds have been moistened before irradiation ($n = 3 \times 100$ seeds).

Puulaji ja alkuperä Tree species and origin	Itämisprosentti — Germination percentage																					
	10 vrk:n idätyksen jälkeen after 10 days' germination								36...40 vrk:n idätyksen jälkeen after 30...40 days' germination													
	0 rad	250 rad	500 rad	1000 rad	2000 rad	4000 rad	8000 rad	0 rad	250 rad	500 rad	1000 rad	2000 rad	4000 rad	8000 rad	0 rad	250 rad	500 rad	1000 rad	2000 rad	4000 rad	8000 rad	
<i>Pinus sylvestris</i>	57,3	54,0	52,5	50,0	45,3	22,7	10,0	73,3	80,0	77,7	73,3	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	73,3	73,3	73,3	75,0	75,0	72,0
Etelä-Suomi	±5,2	±2,1	±0,9	±3,8	±3,2	±7,9	±8,1	±2,7	±2,8	±0,4	±3,1	±1,7	±3,8	±1,7	±3,1	±2,8	±0,4	±3,1	±1,7	±3,8	±1,7	±1,0
South Finland	82,7	65,3	63,3	58,7	61,3	29,7	0,0	92,0	92,0	89,3	91,3	91,0	89,0	91,0	92,0	92,0	89,3	91,3	91,3	89,0	89,0	88,0
Keski-Suomi	±7,0	±2,4	±4,2	±5,2	±11,4	±5,2	±0,0	±0,6	±1,5	±3,2	±2,3	±0,6	±1,7	±0,6	±1,5	±3,2	±2,3	±2,3	±0,6	±1,7	±1,7	±4,0
Central Finland	3,7	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,7	67,3	63,7	66,7	60,3	57,0	60,3	67,3	66,7	66,7	60,3	57,0	57,0	56,3	
Pohjois-Suomi	±2,3	±2,1	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±2,3	±2,5	±3,7	±4,4	±5,5	±6,2	±5,5	±2,5	±3,7	±4,4	±4,4	±5,5	±6,2	±4,1	
North Finland																						
<i>Picea abies</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,0	82,3	82,7	80,0	81,0	68,7	81,0	82,3	82,7	80,0	81,0	81,0	68,7	51,7	
Etelä-Suomi	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±0,0	±2,9	±2,6	±1,9	±2,3	±1,0	±8,7	±1,0	±2,6	±1,9	±2,3	±1,0	±1,0	±8,7	±3,8	
South Finland	13,3	6,3	2,0	3,0	0,0	0,0	0,0	55,7	56,0	46,0	34,3	31,7	31,3	31,7	56,0	46,0	34,3	31,7	31,7	31,3	3,7	
Pohjois-Suomi	±2,7	±2,2	±1,0	±1,9	±0,0	±0,0	±0,0	±2,9	±2,7	±3,6	±1,7	±1,2	±5,6	±1,2	±2,7	±3,6	±1,7	±1,2	±1,2	±5,6	±0,7	
North Finland																						



Kuva 4. Männyn ja kuusen eri alkuperien suhteellinen ($x = 0, y = 100$) keskimääräinen itämisprosentti säteilyannoksen funktiona.

Fig. 4. Mean relative ($x = 0, y = 100$) germination percentage of pine and spruce origins as a function of irradiation dose.

kuin Etelä- ja Keski-Suomen männyt, jotka ovat käyttäytyneet melko yhdenmukaisesti. Myös Pohjois-Suomen kuusi näyttää poikkeavan samalla tavalla eteläisestä alkuperästä. Kuitenkin jälkimmäisten siementen kostutuksen jälkeen todettu kosteusprosentti on korkeampi (10,3) ja siten myös lähempänä optimia kuin pohjoisten siementen vastaava prosenttiluku (8,5). Jos suurimman säteilyannoksen 8000 radia saaneiden Etelä-Suomen kuusien siementen itämisprosentti oikaistaan kokeen 1 kuvan 3 antamalla korjauskertoimella 0,35 (18 %: 52 %) vastaamaan kosteutta 8,5 %, niin itämisprosentti laskee arvoon 18,2. Näin ollen ero eteläisen ja pohjoisen alkuperän välillä pienenee, mutta säilyy kuitenkin. Männyn siementen kosteudet olivat siinä määrin yhtenäisiä, että suoritettu vertailu eri alkuperien välillä on tässä mielessä riittävän harhaton. LD-lukuja arvioitaessa päädytään hyvin samantilaisiin arvoihin kuin edellisissäkin kokeissa.

24. Koe 3. Kostutuskäsittelyn ja säteilytyksen välisen aikaviiveen vaikutus itämistulokseen

Jos siemenet on kostutettu, voidaan ajatella sen vaikuttavan gammasäteilytyksen tulokseen kahdella tavalla: (1) sienitiöt itävät, jolloin ne vaurioituvat säteilytyksessä herkemmin kuin itiöpöly ja (2) siemenissä alkaa tapahtua solunjakautumisia, mikä tunnetusti lisää säteilyherkkyyttä. Esimerkiksi VAARAMA (1968 s. 21) muistuttaa mahdollisuudesta, että idännän stimuloituminen voi johtua sienien aktiviteetin alenemisesta. Männyn siemenissä näitä itiöitä on yleensä runsaammin kuin kuusen siemenissä (ks. esim. LEHTINIEMI 1970 ss. 44–48). Idätykset yleensäkin ovat sellaisia, että aikaviiveitä pyrkii syntymään kokeita perustettaessa. Tämä johtuu siitä, että on käytännössä hankala saada yhdellä kertaa käsitellyksi ja itämään niin suurta määrää siemeniä, että aineistoa kertyisi riittämiin, jos tutkittavana on kovin monet asiat samanaikaisesti. Tämä pulma tulee vastaan myös gammasäteilytyksissä. Niinpä viiveen merkitystä päätettiin tutkia tämän koesarjan yhteydessä.

Koejärjestelyt. Kokeet tehtiin Keski-Suomen männyn siemenillä. Kosteusasteina olivat kostutuskosteus ja liotuskosteus. Kosteusprosentit olivat 7,9 ja 43,5 kuivapainosta laskettuna (taulukko 2 s. 72). Aikaviiveen pituus oli 0, 1 tai 2 vrk. Säteilyannokset olivat 0, 250, 1000 ja 4000 rad. Säteilytys ja idätys tapahtuivat täsmälleen samalla tavalla kuin edellisissäkin kokeissa. Idätykset aloitettiin 26., 27., tai 28. 05. 1976 viiveen pituuden mukaan.

Tulokset. Kokeen tulokset on esitetty taulukossa 5. Lopullisissa itämisprosentteissa on havaittavissa tavanomainen idännän lievä stimuloituminen pienillä säteilyannoksilla, mutta mitään erityisen selvää aikaviiveestä johtuvaa muutosta ei voida havaita. Säteilyttämättömien siementen itämistarmo on kohonnut kostutuskäsittelyn ansiosta. Se että, kahden vuorokauden viiveen jälkeen säteilytettyjen siementen itämistarmo on melko alhainen, johtunee sekä siitä, että siemenet ovat yksinkertaisesti itäneet vasta 8 vrk ensimmäiseen inventointiin mennessä ja siitä, että ne ovat olleet suljetuissa putkissa kaksi päivää.

Taulukko 5. Koe 3. Säteilytystä edeltäneen viiveen vaikutus männyn (Keski-Suomi) kostutettujen tai liotettujen siementen idäntään ($n = 3 \times 100$ siementä).

Table 5. Experiment 3. The effect of time lag before irradiation on the germination of moistened or soaked pine seeds (Central Finland) ($n = 3 \times 100$ seeds).

Kosteus ja viiveen pituus, vrk Moisture and duration of time lag, days	Itämisprosentti — Germination percentage									
	8...10 vrk:n idätyksen jälkeen after 8...10 days' germination					36...40 vrk:n idätyksen jälkeen after 36...40 days' germination				
	0 rad	250 rad	1000 rad	4000 rad	0 rad	250 rad	1000 rad	4000 rad		
Kostutetut siemenet Moistened seeds										
viive — time lag 0	71,0 ± 5,7	68,7 ± 5,8	68,0 ± 6,2	15,7 ± 5,6	87,0 ± 1,5	88,0 ± 2,9	92,3 ± 1,2	87,0 ± 0,6		
1	75,0 ± 6,7	64,3 ± 5,7	60,3 ± 6,6	29,0 ± 6,6	87,7 ± 0,9	88,0 ± 2,2	88,7 ± 1,5	87,7 ± 2,4		
2	38,7 ± 5,6	29,0 ± 6,1	24,0 ± 6,2	0,0 ± 0,0	86,0 ± 3,6	86,7 ± 3,9	90,7 ± 0,9	90,0 ± 1,0		
Liotetut siemenet Soaked seeds										
viive — time lag 0	62,0 ± 2,5	55,0 ± 3,6	41,3 ± 6,2	0,3 ± 0,1	77,7 ± 1,2	78,0 ± 2,9	81,7 ± 0,8	10,3 ± 1,2		
1	77,0 ± 2,9	69,3 ± 2,9	45,3 ± 1,4	0,7 ± 0,4	87,3 ± 2,2	87,0 ± 2,0	82,0 ± 2,1	4,0 ± 2,4		
2	54,7 ± 8,6	46,0 ± 6,7	36,7 ± 4,4	0,0 ± 0,0	78,0 ± 1,5	76,7 ± 2,2	78,7 ± 2,9	10,0 ± 0,6		

3. TARKASTELU

Suoritetuissa kokeissa kävi ilmi, että pienehköt gammasäteilyannokset voivat todellakin stimuloida männyn ja kuusen idäntää. Efektin selittäminen on vaikeaa. Se kytkeytyy yleiseen ilmiöön, että ionisoiva säteily voi stimuloida solujen aktiiviteettia. Erittäin monet tekijät modifioivat säteilyn vaikutusta soluihin (VAARAMA 1968 ja hänen esittämänsä kirjallisuus).

Varsinkin suuria säteilyannoksia käytettäessä osoittautui myös männyn ja kuusen siementen kohdalla paikkansa pitäväksi se tosiasia, että näiden gammasäteilyherkkyys noudattaa optimikäyrän muotoa, jos kosteutta vaihdellaan. Kostutusasteus jäi alle tarkoitettun todennäköisen optimialueen (10–20 %) ja havaintoja pitäisi saada myös kosteuksista 20–25 %.

Sekä pohjoinen mänty että kuusi näyttävät kestävän ionisoivaa säteilyä huomommin kuin eteläiset alkuperät. Selitystä ei ole välttämättä etsittävä solujen DNA-pitoisuuksien eroista tai muista tavallisesti mainituista tekijöistä. Pohjoisissa siemenissä on yleensä — kuten nytkin — suhteellisesti enemmän vajaakehittyneitä siemeniä kuin eteläisissä. Tällaiset keskossiemenet — vaikka saattavat optimiolosuhteissa itää — eivät kestä ionisoivaa säteilyä yhtä hyvin kuin täysin kypsät siemenjyvät (GUSTAFSSON & SIMAK 1958). Näin ollen on jätettävä avoimeksi kysymys, onko pohjoisten ja eteläisten alkuperien välillä todellista eroa

gammasäteilyherkkyudessa, jos kaikki siemenet ovat itämiskykyisiä.

Se, että lyhyehköillä aikaviiveillä ei ollut merkitystä itämistuloksen suhteen, antaa järjestelyvaraa tällaisissa kokeissa. Märkien siementen sulkemista hapettomaan tilaan on syytä karttaa. Aikaviivekoe olisi mielenkiintoista toistaa sellaisella siemenellä, joka tiedetään tai on tehty hyvin sienisaasteiseksi.

LD₅₀- ja LD₁₀₀-arvot nousivat nyt järjestetyissä kokeissa selvästi korkeammiksi kuin kirjoittajan aiemmassa koesarjassa (LEHTINIEMI 1976). Ero selittynee lähinnä sillä, että nyt itäneiksi katsottiin kaikki siemenet, joihin oli ylipäättään kehittynyt itu. Aiemmin idulle asetettiin vielä vaatimus, että sen on oltava vähintään neljä kertaa siemenen pituinen. Tämä on normaali sääntö idätyskokeissa (ISTA:n normi), joten varhaisemman tutkimuksen LD-arvot ovat sellaisenaan verrattavissa ulkomaisten tutkijoiden tuloksiin.

Kotimaisen männyn ja kuusen siementen gammasäteilyherkkyteen sekä siihen vaikuttaviin tekijöihin on kirjoittajan suorittamien kokeiden perusteella saatu hyvä sormituntuma. Näiden esikokeiden jälkeen olisi päästävä tutkimaan, pitävätkö löydetyt säännöt paikkansa laajoissa aineistoissa ja miten radiobiologiaa voidaan käyttää hyväksi puuntuotannon kohottamiseen tähtäävässä arkipäivän metsänjalostuksessa.

KIRJALLISUUS

- EL-LAKANY, M. H. & SZIKLAI, O. 1970 a. Effects of gamma-irradiation on some western conifers. Rad. Bot. 10: 411–420.
 — » — 1970 b. Variation in nuclear characteristics in selected western conifers and its relation to radiosensitivity. Rad. Bot. 10: 421–427.
 GUSTAFSSON, Å. & SIMAK, M. 1958. Effect of X- and γ -rays on conifer seed. Medd. fr. St. skogsf. inst. 48(5): 1–24.
 LEHTINIEMI, T. 1970. Metsämaassa tapahtuvista sementuhoista ja niiden torjunnasta. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja N:o 4. 62 p.
 — » — 1976. Ionisoivan säteilyn vaikutus varas-

tokuivien ja liotettujen metsäpuiden siementen idäntään ja taimien alkukehitykseen. Summary: Effect of ionizing radiation on the germination of storage-dry and soaked forest tree seeds and on the initial development of seedlings. Silva Fenn. 10 (1): 20–31.

MÜLLER-OLSEN, C., SIMAK, M. & GUSTAFSSON, Å. 1956. Germination analyses by the X-ray method: *Picea abies* (L.) Karst. Medd. fr. St. skogsf. inst. 46 (1). 12 p.

OHBA, K. 1961. Radiation sensitivity of pine seeds of different water content. Hederitas 47: 284–294.

SARVAS, R. 1964. Havupuut. WSOY. Porvoo. 518 p.

SIMAK, M. & GUSTAFSSON, Å. 1953. X-ray photography and sensitivity in forest tree

species. Hederitas 39: 458-468.

VAAARAMA, A. 1968. Induced mutations and polyploidy in birch, *Betula* spp. Final report (Part II). 81 p.

SUMMARY:

FACTORS AFFECTING GAMMA-IRRADIATION SENSITIVITY OF SCOTS PINE AND NORWAY SPRUCE SEEDS

This study, comprising three experiments, was carried out in order to determine what is the effect of the geographical origin of pine and spruce seeds, their moisture content, and the duration of the time lag between the moisture treatment and subsequent irradiation on the gamma-irradiation sensitivity of seeds.

The radiation source was $^{60}_{27}\text{Co}$ and the dose rate 2, 4, or 8 krad per hour. Acute irradiation was used lasting from 7.5-80 min. The provenances studied were: Scots pine seeds from South, Central and North Finland, and Norway spruce seed from South and North Finland. Information about the geographical origin and germination percentage is to be found in Table 1 (p. 70) and Fig. 1 (p. 71). The different moisture conditions were: dried, storage-dry, moistened and soaked seeds (Table 2 p. 72). The duration of the time lag was 0, 1 or 2 days.

Sterilised quartz sand with a grain size of 0.3-0.5 mm and a pH of 4.9 was used as the germination substrate. Germination took place in summer 1976 in a plastic greenhouse (Fig. 2 p. 73) with a day-time temperature of 20-30°C and a slightly lower night-time temperature. Neither artificial lighting nor nutrient solutions were used. Watering was carried out with ordinary tap water. Germinated seeds were considered to be those seeds which developed a viable sprout. Inventories were carried out 10 days (in the time lag experiment 8, 9 or 10 days) and 36...40 days after germination had started. The seeds were treated in lots of 100,

and always with three replications. Altogether 36 000 seeds were included in the experiments.

In experiment 1, the effect of increasing the irradiation dose and the moisture content of the seeds on the germination percentage were studied. It was found that (Table 3, p. 74 and Fig. 3, p. 73) the greater the irradiation dose seeds were subjected to, the slower the rate of germination. In general, small radiation doses (250-1 000 rad) had a stimulating effect and the final germination percentage (36...40 days) increased. However, when the level was further increased, the germination percentage decreased.

Air-dry and moistened seeds withstood irradiation better than the others. Presumably the optimum moisture content lies between 10-20 % of the dry weight (cf. OHBA 1961).

In experiment 2, the irradiation sensitivity of moistened seeds (table 2) from different geographical sources was studied. Pine and spruce seeds from North Finland were less able to withstand irradiation than those originating from the south (Table 4 p. 76, and Fig. 4, p. 77).

In experiment 3, an attempt was made to determine the effect of the duration of the time lag. The time lags used in the experiment had no effect on germination following irradiation.

As the material used in the experiments was rather limited the results can only be regarded as being of a preliminary nature. In the future, wider material should be collected, and experiments carried out to determine the role which radio-biology can play in increasing timber production.