

TÄRKEIMPIEN KASVUTEKIJÖIDEN JA KÄYTETYN VILJELYTEKNIIKAN SUHTEET NURMEN KASVURYTMIIIN JA SADONMUODOSTUKSEEN

Summary: Growth factors and management technique used in relation to the developmental rhythm and yield formation pattern of a forage stand

SEPPÖ PULLI

Helsingin yliopisto, kasvinviljelytieteen laitos

ESITETÄÄN HELSINGIN YLIOPISTON MAATALOUS-
METSÄTIETEELLISEN TIEDEKUNNAN LUVALLA JUL-
KISESTI TARKASTETTAVAKSI YLIOPISTON LUENTO-
SALISSA XII 23. TOUKOKUUTA 1980 KLO 12.



ISBN 951-9041-14-1
ISSN 0024-8835

Alkusanat

Tutkimukset väitöskirjatyötä varten suoritettiin Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksella Viikissä vuosina 1973–78. Väitöskirja perustuu osatutkimuksiin, joissa tutkimustuloksia on selostettu yksityiskohtaisesti. Osajulkaisut ovat seuraavat:

PULLI, SEPPO. 1980. Growth factors and management technique used in relation to the developmental rhythm and yield formation pattern of a clover-grass stand.
J. Scient. Agric. Soc. Finl. 52: 215–280

PULLI, SEPPO. 1980. Growth factors and management technique used in relation to the developmental rhythm and yield formation pattern of a pure grass stand.
J. Scient. Agric. Soc. Finl. 52: 281–330.

Tutkimustyön aiheesta sekä saamastani tuesta olen kiitollinen opettajalleni ylijohtaja, prof. JUHANI PAATELALLE.

Parhaat kiitokseni osoitan myös professori JAAKKO MUKULALLE ja professori EERO VARIKSELLE heidän arvokkaista ohjeistaan väitöskirjatyön kokoonpanovaiheessa.

Erityisen lämpimästi kiitän perhettäni, työtovereita ja kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat myötävaikuttaneet tämän tutkimustyön toteuttamiseen ja loppuun saattamiseen.

Tutkimusta varten olen saanut taloudellista tukea Agronomien Yhdistykseltä ja August ja Aino Tiuran maatalouden tutkimussäätiöltä, joille esitän kiitokseni. Lopuksi kiitän Suomen Maataloustieteellistä Seuraa, joka on ottanut väitöskirjatyöni julkaisusarjaansa.

Viikissä 1. huhtikuuta 1980

Seppo Pulli

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ALKUSANAT	187
1. JOHDANTO	191
2. KASVIN KASVURYTMIIIN JA SADONMUODOSTUKSEEN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ	193
2. 1. Nurmikasvien kasvumalli	193
2. 2. Lajin sisäinen ja lajien välinen kilpailu nurmikasvien sadonmuodostuksessa	194
2. 3. Nurmikasvien kehitysaste sadon määrän ja laadun kuvaajana	196
2. 4. Vesi ja typpi nurmen sadonmuodostuksessa	197
3. TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT	198
3. 1. Kenttäkokeet	198
3. 2. Laboratoriomenetelmät	199
3. 3. Tilastomatemattinen käsittely	199
4. TUTKIMUSTULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	200
4. 1. Kasvutekijöiden suhde nurmen kasvurytmiin ja sadonmuodostukseen	200
4. 2. Kasvumalli sadon määrän ja laadun kuvaajana	203
4. 3. Kuiva-ainesadon suhde viljelytekniikkaan	205
4. 4. Sadon laatu ja viljelytekniikka	206
4. 5. Viljelytekniikan suhde nurmen kestävyyteen	208
KIRJALLISUUS	208
SUMMARY	214

1. Johdanto

Maamme peltoalasta nurmen osuus on 1970-luvulla ollut keskimäärin 38 %. Keskimääräinen heinäsato 3 800 kg ha⁻¹ edustaa n. 1 500 rehuyksikköä ja 340 kg raakavalkuaista hehtaarilta. Säilörehunurmilta tuotettiin samana ajankohtana tuoresatoa keskimäärin 17 620 kg ha⁻¹, mikä vastaa n. 2 500 ry ja 560 kg raakavalkuaista hehtaarilta. Satotason kehitys ajanjaksolta 1956—60, jolloin keskimääräinen kuiva heinäsato maassamme oli 3 050 kg ha⁻¹ ja säilörehusato 12 200 kg ha⁻¹, on ollut varsin huomattavaa. Kuitenkin peltoheinän sato koko maassa edustaa vain n. 40 % siitä satotasosta, joka on ollut saavutettavissa jo 100 kg ha⁻¹ typpilannoituksella koeruuduilta.

Maamme niitonurmien valtaosa on ollut apila-timoteinurmia. Puna-apilan osuus oli vuosina 1947—50 keskimäärin 24 %. Vuoden 1951 nurmitutkimuksissa (PAAVELA 1953) apilan keskimääräinen osuus oli 27 %, timotein 49 % ja muiden kasvien 24 %. Vuoden 1966—67 tutkimuksissa (MUKULA ym. 1967, MARTTILA ja RAATIKAINEN 1967) puna-apilan osuus oli laskenut 9 %:iin, viljeltyjen heinien osuus noussut 66 %:iin ja muut kasvit edustivat 25 %:n osuutta. Runsaimmin apilaa on ollut Etelä-Suomessa, vähiten Lapissa. Suurin syy apilan osuuden alenemiseen nurmessa olivat sen heikot talvehtimisominaisuudet ja voimaperäisesti viljeltävien säilörehunurmien yleistymisen.

Yliopistolla ja Maatalouden tutkimuskeskuksessa 1960-luvulla käynnistetyt ns. vihreän linjan tutkimukset (RAININKO 1968, JÄNTTI 1968) pyrkivät nurmien tehostettuun hyväksikäyttöön. Erittäin intensiivisen ja monipuolisen tutkimustoiminnan tuloksena nurmen viljelyssä siirryttiin nurmipalkokasveista ja nurmipalkokasvi-heinäseoksista puhtaisiin heinänurmiin, joista runsaalla N-lannoituksella ja sopivalla niittotiheydellä tuotettiin säilörehun raakaainetta, joka täyttää valkuaisväkevyyden osalta keskituottoisen karjan vaatimukset. Halvan lannoitetypen aikana voitiin näin menetellen lisätä maatalouden valkuaisomavaraisuutta.

Tehostettuunkin nurmenviljelyyn Suomen oloissa liittyy muita viljelykasvejamme suurempi viljelyvarmuus johtuen nurmiheinien alhaisemmista lämpötilavaatimuksista ja sadon vegetatiivisesta käyttömuodosta. Rehuntuotantomme viljelyvarmuutta Etelä-Suomen savialueella alentavat kasvukauden aikaisista kasvutekijöistä eniten alkukesän kuivuus (KORHONEN 1918, KERÄNEN 1931, LUNELUND 1944, HUSTICH 1950, PAAVELA ja SUOMELA 1962,

HOOLI 1971) ja erilaiset talvehtimisvauriot (HUOKUNA 1971 a, HIIVOLA ym. 1974, JAMALAINEN 1978). Pohjoista kohti siirryttäessä kasvutekijöiden intensiteetti ja vaikutusaika vähenevät ja samalla kasvilajivalikoima vähenee. Pohjois-Suomen pitkä päivä, nurmikasveille riittävät keskilämpötilat ja alhaisesta haihtumisesta johtuva kasveille tyydyttävä vesitalous suosivat nurmen kasvua. Toisaalta lyhyt kasvukausi, lyhyt terminen syksy ja pitkä talvi asettavat intensiiviselle nurmenviljelylle rajoituksensa alentamalla talvehtivien nurmikasvien viljelyvarmuutta. Pohjois-Suomen nurmien viljelyvarmuutta alentavat eniten eri syistä johtuvat talvehtimisvauriot (HUOKUNA 1971 a, HIIVOLA ym. 1974, VALMARI 1979, MARJANEN ym. 1979, MÄKELÄ 1979).

Nurmen kehitysrytmi ja sadonmuodostus sekä viljelyvarmuus niitto-, säilörehu- ja laidunnurmissa riippuvat kasvien perinnöllisistä ominaisuuksista, vuosittain vaihtelevista sääoloista ja käytetystä viljelytekniikasta. Viljelytekniisiin tekijöihin liittyvät maalajit ja sen reaktio, lannoitus, käytetyt siemenseokset, nurmen perustamistapa, nurmen ikä sekä niitto- ja syöttötiheys ja niiden ajankohdat. Puhtaissa kasvustoissa viljelytekniikka pyrkii sopeuttamaan lajin sisäisen kilpailun vallitseviin kasvutekijöihin. Sekakasvustoissa pyritään vastaavasti löytämään viljelytekniikka ja kasvilajit, jotka parhaiten vähentävät kasvien välistä kilpailua ja edistävät kasvien limittäistä kehitystä voimakkaana läpi kasvukauden.

Nurmen jälkikasvu ja talvehtiminen ovat tärkeitä sadontuottokykyyn ja viljelyvarmuuteen liittyviä tekijöitä. Kun näihin ominaisuuksiin liitetään sadon määrän ja laadun optimointi, päästään ruokintaopillisesti ja taloudellisesti täysipainoiseen rehuntuotantoon. Nurmitalouden suunnittelun ja kehittämisen kannalta olisi edullista päästä myös mahdollisimman pieniin vuotuisiin satovaihteluihin.

Tutkimuksen tarkoitus

Nurmenviljely on muodostanut karjatalousvaltaisen maataloutemme perustan. Nurmikasveja onkin pidettävä maantieteellistä sijaintiamme ja lyhyttä kasvukauttamme ajatellen viljelyvarmimpina kasvilajeinamme. Satovaihtelua aiheuttavista tekijöistä osa on kasvutekijöistä johtuvia, osa sellaisia, joihin viljelytekniikalla voidaan vaikuttaa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää vihernurmen kasvuun ja kehitykseen liittyviä viljelytekniisiä tekijöitä sekä kasvutekijöitä ja näiden välisiä suhteita. Tutkimus koostuu kahdesta yliopiston opetus- ja koetilalla Viikissä, vuosina 1973—78, suoritetusta osatutkimuksesta.

Vuonna 1973 perustetun apila-heinänurmen kasvurytmiä ja sadonmuodostusta tutkittiin kasvukausina 1974—76. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää korkealla lannoitustasolla (270 kg N ha^{-1}) ensimmäisen niiton ajankohdan ja niittotiheyden vaikutus kasvuston sadon määrään, jälkikasvukykyyn, sadon laadun muutokseen sekä seoksen kasvilajien satoon kasvukauden eri vaiheissa. Toisena tutkimuskohteena olivat käytettävissä olevien kasvutekijöiden suhteet sadonmuodostukseen kasvukauden eri vaiheissa tarkastettuina suorina korrelaatioina ja valikoivan regressioanalyysin muuttujina. Muita tutkimuskohteita olivat sadon kuiva-aineen energia-arvoon liittyvät muutok-

set kasvukaudella ja kasvuston fotosynteettinen tehokkuus pinta-alayksikölle tulleesta kokonaissäteilystä.

Toisessa osatutkimuksessa selvitettiin puhtaan nurminatanurmen kasvurytmiä ja sadonmuodostusta vuosina 1975—78. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää lajin sisäistä kilpailua ja sadonmuodostusta kylvötiheyden, N-lannoituksen ja niittotiheyden funktiona. Toisena tutkimuskohteena olivat viljelytekniikan, kasvutekijöiden ja sadonmuodostuksen väliset suhteet polynomisena kasvumallina, lineaarisena riippuvuutena ja valikoivassa regressiomallissa.

Tutkimukset tehtiin polyfaktorikokeina, jolloin ristikkäisvaikutukset voitiin testata. Tutkimusajanjaksoa kasvutekijätutkimuksen osalta suosivat varsin vaihtelevat kasvukaudet.

2. Kasvin kasvurytmiin ja sadonmuodostukseen vaikuttavista tekijöistä

2.1. Nurmikasvien kasvumalli

Kasvin kasvu ja kehitys on sidottu rakennusaineina tarvittavien yhteyttämistuotteiden määrään, joka on riippuvainen kasvien yhteyttämistehosta. Siihen vaikuttavat perinnölliset ominaisuudet, kasvutekijät ja käytetty viljelytekniikka. Tietyn kasvuston kasvumallin rakentamiseen tarvitaan sekä sisäisten että ulkopuolisten tekijöiden tuntemus (KVET ym. 1971, WILSON 1972). Sisäisiin tekijöihin luetaan yhteyttäminen, hengitys, yhteyttämistuotteiden kuljetus ja varastointi, N-aineenvaihdunta, hormonien aktiivisuus, fotobiologia jne. Edellä kuvatuista seuraa, että kasvin kasvu on dynaamista, johon vaikuttavat sekä edellisen että nykyisen kasvuvaiheen tekijät sellaisenaan (de WIT ja BROUWER 1968). Primäärituotanto on yhteyttämisen ja hengityksen erotuksena syntynyt nettoassimilaatio, josta tietyn ajanjakson funktiona voidaan käyttää termiä kasvin kasvunopeus (WATSON 1965). Sopivana kasvun mittana voidaan pitää BLACKMANIN (1919) kehittämää tehokkuusindeksiä tai BRIGGSIN ym. (1920) määrittämää suhteellista kasvunopeutta. Eri tavoin määritetyt ajan funktiona syntyneet lisäkasvut muodostavat S-muotoisen kasvukäyrän, joka on ominainen yksityiselle kasville, kasvin osalle ja koko kasvustolle (GREGORY 1921). Kasvukäyrän yksityiskohtaiseen muotoon kronologisen ajan, fysiologisen iän tai lämpötilasumman suhteen (de WIT et al. 1971, POHJONEN ja HARI 1973, EDEY 1977) vaikuttavat perinnölliset tekijät, kasvutekijät ja käytetty viljelytekniikka. Kasvumalleissa kiihtyvän kasvun vaihetta kuvaa exponentiaalinen kasvufunktio, tasaisen kasvun vaihetta suoraviivainen regressiofunktio ja hidastuvan kasvun vaihetta jokin käyräviivainen ylöspäin kupera regressiofunktio kuten toisen asteen polynomi, neliöjuurifunktio, Cobb-Douglass funktio tai Spillmanin exponenttifunktio. Sigmoidisen kasvukäyrän eli S-muotoisen kasvukäyrän kuvaajana on käytetty mm. kolmannen asteen polynomifunktiota, logaritmista polynomifunktiota, logistista kasvukäyrää (SPILLMAN 1923, WILLIAMS 1964, RICHARDS 1969, CAUSTON 1977).

Vaikka tietyt kasvutapahtumat kuten kasvien pituuskasvu, lehtialan lisääntyminen ja kuiva-ainesadon muodostuminen noudattavat S-muotoista kasvumallia, niiden käyttöön liittyy vaikeuksia. RICHARDSIN (1969) mukaan kasvutekijävaikutukset saattavat sisältää sellaisia virhelähteitä, joita on vaikea kontrolloida kasvumalleissa, ja vaikka malli kuinka tarkasti kuvailisi kasvun ja kasvutekijöiden välisiä suhteita, mallilta puuttuu fysiologinen selvityskyky. Kasvumallien hyviä puolia KVET ym. (1971) mukaan ovat niiden käytön yksinkertaisuus ja mahdollisuudet selvittää tietyn kasvuston tuotto tietynä ajanjaksona tai koko kasvukautena.

2.2. Lajin sisäinen ja lajien välinen kilpailu nurmikasvien sadonmuodostuksessa

Kasvit kilpailevat valosta, vedestä ja kasvinravinteista. Kilpailu puhtaassa kasvustossa on lajin sisäistä, sekakasvustossa lajin sisäistä ja lajien välistä (WARING ja MAJOR 1964). Kilpailun vaikutukset näkyvät kasvien koon pienenemisenä, jälkikasvukyvyyn alenemisenä tai kuolemisena. COOKIN (1965) mukaan lajin sisäiselle kilpailulle on tyypillistä mukautuminen kasvuoloihin, kun taas lajien välinen kilpailu useimmiten päättyy heikomman tai heikompien lajien kuolemaan.

Kasviyhdyksennassa kasviyksilöön kohdistuvan kilpailun voimakkuus riippuu kasvutiheydestä ja sen jakautumisesta eri kasvilajeille, kilpailevista kasvilajeista ja kilpailun vaikutusajasta (BLEASDALE 1960, DONALD 1963, BAEUMER 1964). JONESIN (1936) tutkimuksissa todettiin, että matalakasvuiset kasvit kärsivät valonpuutetta korkeiden kasvien seurassa, hitaasti kehittyvät kasvilajit kärsivät nopeakasvuisten kasvurytmistä, jälkikasvun määrään vaikuttaa eri kasvilajien erilainen aggressiivisuus; kasvaa toista kasvilajia voimakkaammin tai vaikuttaa toiseen kasvilajiin jo pelkällä läsnäololla.

Kasviyksilöiden kehittyminen on riippumatonta kasvutiheydestä niin kauan, kun kasvit saavuttavat kasvutilavaatimuksensa. Tämän jälkeen kasvien välinen kilpailu hidastaa yksilökoon kasvua. Kasvun hidastaminen alkaa sitä aikaisemmin ja on sitä voimakkaampaa, mitä tiheämpi kasvusto on (DONALD 1963, BAEUMER 1964).

Kasvin koon ja kasvutiheyden välillä vallitsee yhtälö (KIRA ym. 1953, 1956)

$$\frac{1}{W} = \frac{A}{S} + \frac{1}{M}$$

missä W = kasviyksilön paino, S = kasvutila sekä A ja M ajan mukaan muuttuvia funktioita. Yhtälön mukaan kasvien yksilöpainon käänteisarvo on kasvutiheyden lineaarinen funktio. HOLLIDAYN (1960 b) mukaan yksilösato alenee pienenevällä nopeudella kasvutiheyden kasvaessa.

HARPER ja GAIJICIN (1961) mukaan lisääntyvä kasvutiheys pienentää kasviyksilöiden lukumäärää. Tietyn ajanjakson kuluessa nurmiheinillä on taipumus kilpailun vallitessa kehittää vähitellen vakaa, kasvuoloihin sopeutunut kasvutiheys. SCARISBRICK ja IVINS (1970) totesivat, että kasvutiheydellä ja niittoajankohdalla ei ole suurta vaikutusta yksilösatoon usein niitettäessä. Niittä-

mättömässä nurmessa yksilösato lisääntyy kasvuston vanhetessa harvassa kasvustossa enemmän ja nopeammin kuin tiheässä nurmessa.

De WITIN (1960) tutkimuksissa todettiin, että kasvuston tuottama sato määrä (O_s) pinta-alayksiköltä kasvutiheyden (Z) suhteen vaihtelee seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$O_s = \frac{\beta \Omega}{\beta + Z^{-1}},$$

missä vakiot β ja Ω voidaan laskea. Yhtälön mukaan kasvutiheyden kasvaessa sato lähestyy teoreettista maksimiarvoa. Sadon ja kasvutiheyden välinen suhde on asymptoottinen kuten myös HOLLIDAY (1960 a) osoitti.

Kasvuston tiheyteen, fotosynteesin tehokkuuteen ja sadontuottokykyyn liittyy lehtialaindeksi (LAI), joka kuvaa pinta-alayksiköllä kasvavan kasvuston lehtien ja vastaavan kasvualustan pinta-alan suhdetta (WATSON 1947). Tehokas LAI:n hyväksikäyttö edellyttää, että optimi LAI saavutetaan nopeasti ja tasaisesti koko kasvustossa (WARREN WILSON 1960). BROUGHAM (1958) määritteli LAI:n optimiksi lehtialan, joka pystyy absorpoimaan 95 % kasvustolle tulevasta valosta. LAI:n ollessa optimissa myös LAI:n kasvu on maksimissa (BLACKMAN 1968). DONALDIN ja BLACKIN (1958) mukaan optimi LAI:n apilanurmista on 4–5. LAI:n optimit timoteilla, raiheinällä ja koiranheinällä olivat 6.5, 7.1 ja 4.5 (BROUGHAM 1958, EVANS 1964, WATANABE 1975). Kun lehtien kuihtuminen kasvustossa on yhtä suurta kuin uusien syntyminen, lehtialaindeksi on korkeimmillaan (DONALD ja BLACK 1958).

Nurmikasvilajien välisessä kilpailussa kaikki heinälajit hyötyvät apilan seassa kasvaessaan. HOLMES ja MAC LUSKYN (1955) mukaan nurminata hyötyy eniten apilan seurasta, timotei hieman vähemmän ja koiranheinä vähiten. JÄNTTI (1953) ja RAININKO (1968) totesivat, että timotei menestyy huonosti nurminadan, mutta vielä huonommin koiranheinän kanssa.

Ravinteista N-lannoitus lisää heinäkasvien osuutta sekä PK-lannoitus ja kalkitus apilan määrää (JÄÄSKELÄINEN 1929). Typpilannoituksen apilapitoisuutta vähentävä vaikutus johtuu siitä, että heinät käyttävät tyyppiä tehokkaammin, jolloin niiden kilpailukyky paranee ja apila joutuu kärsimään valon puutteesta (FRANK 1952, SALONEN 1959).

Kehityksen rytmi vaikuttaa kasvien kuivuudenkestävyyteen ja kasvien väliseen kilpailuun. Apiloilla on orasasteella voimakkain juuristo, nurminadalla vähän heikompi ja koiranheinällä sekä timoteilla heikoin (POHJAKALLIO 1948). Juuriston kehitys vaikuttaa ratkaisevimmin, millaiseksi kasvilajikoostumus muodostuu ensimmäisen vuoden nurmessa. Myös kuivasta kaudesta toipuminen vaikuttaa kasvilajikoostumukseen. Poutakaudesta sateen avulla toipuu parhaiten koiranheinä, hieman hitaammin nurminata ja hitaimmin timotei (LINJA-AHO 1952).

Nurmen käyttö vaikuttaa sen kasvilajikoostumukseen ja lajien satoussuhteisiin. KLAPPIN (1937) mukaan heinien laiduntamiskestävyys vahvimasta heikoimpaan on niittynurmikka, punanata, nurminata, koiranheinä ja timotei. Niittokertojen lisääntyessä (RAININKO 1968) pienei kuiva-ainesato eniten heinänurmissa, seuraavaksi apila-heinänurmissa ja vähiten punaapilanurmista.

2. 3. Nurmikasvien kehitysaste sadon määrän ja laadun kuvaajana

Nurmiheinien kuiva-ainesato lisääntyy kasvuston vanhetessa (POIJÄRVI 1931, HUOKUNA 1960, SAU ja VIIRALT 1974). Kasvu noudattaa sigmoidia kasvukäyrää. Nurmiheinien kevätsadon kasvu vaihtelee 150–300 kg ha⁻¹ kuiva-ainetta päivässä (RINNE 1977). Suurin mahdollinen kuiva-ainesato saadaan, kun kasvusto niitetään kaksi kertaa kasvukaudessa ja ensimmäistä niittoa lykätään mahdollisimman paljon, koska erot odelmasadossa ovat pienemmät kuin pääsadossa (TEITTINEN 1959, RAININKO 1968). KELLYN (1958) mukaan kevätsatoon vaikuttavat voimakkaimmin kasvuston pituus ja korrenmuodostus, koska suurin osa versoista on generatiivisia. Keskikesän kasvulle on tyyppillistä uusien versojen muodostuminen, joten kasvuston pituus ei yksinään kuvaa satoa. Syksyllä ei kumpikaan tekijä ole vallitseva, vaan molemmilla on vaikutusta sadon kehittymiseen.

Kuiva-ainesatojen lisääntyminen on voimakasta kukintojen muodostumiseen saakka (KNEVEL ym. 1971, KUNELIUS ym. 1974). KIVIMÄEN (1965 ja 1966) mukaan heinien kuiva-ainesadot ovat korkeimmillaan kukinnan alun ja täyden kukinnan välisenä aikana. AHLGREN (1938) totesi, että kasvuston saavutettua täyskukinnan kuiva-ainesadot lisääntyvät enää hyvin vähän.

SHEARD ja WINCHIN (1966) mukaan korjuuajankohtaa valittaessa nurmikasvien morfologisen ja fysiologisen kehityksen korjuuhetkellä tulee olla sellainen, että se tuottaa mahdollisimman nopean jälkikasvun ja suuren kokonaissadon ja korjattavan rehusadon tulee olla korkealaatuinen. VALLE ja VIRTANEN (1932) totesivat, että kuta aikaisemmalla asteella ensimmäinen niitto suoritetaan, sitä parempi on yleensä nurmikasvilajien jälkikasvu. Kasvukauden sääolot saattavat kuitenkin hyvin oleellisesti vaikuttaa jälkikasvun määrään. JÄNTTI ja HEINONEN (1957) sekä RAININKO (1968) esittävät yhteenvedoksi, että suurin kuiva-ainesato saadaan yleensä kahdella niittokerralla, mutta jos kasvuolot ovat edulliset, saadaan neljällä niittokerralla määrältään ja laadultaan paras tulos.

Valkuaissadon kasvu on voimakkainta kasvin nuorilla kehitysasteilla. Valkuaispitoisuuden alenemisen seurauksena valkuaisadon kasvu hidastuu, vaikka kuiva-ainesato lisääntyy vielä voimakkaasti. Nopein raakavalkuaissadon lisääntyminen saavutetaan kevätkasvussa, jolloin myös valkuaispitoisuuden aleneminen on voimakkainta. Myöhempinä kasvujaksoina muutokset ovat hitaampia ja syyskasvussa raakavalkuaissadot jäävät alkukesän satoja pienemmiksi (SAU ja VIIRALT 1974).

Laadunmuutokset kasvuston vanhetessa liittyvät sekä kasvuston lehti/varsu suhteeseen että soluissa tapahtuvaan kehitykseen (OLOFSSON 1962). Ratkaisevinta TERRY ja TILLEYN (1964) mielestä on korrenmuodostus, sillä muutokset eri kasvinosien koostumuksessa kasvuston vanhetessa tapahtuvat eri tavalla. Merkittävää on, että samassa kehitysvaiheessa olevien kasvien kemiallinen koostumus on erilaisina vuosina sama (POUTIAINEN ja RINNE 1971).

Kuiva-ainepitoisuus on kevätsadossa alhaisempi kuin myöhemmissä sadoissa (SULLIVAN ym. 1956). SALO ym. (1975) havaitsivat kuiva-ainepitoisuuden alenevan timoteilla ja nurminadalla, kunnes lehti/varsu suhde laski 1.0—

0.8. Tällöin ruohon kuiva-ainepitoisuus oli 15.4–16.8 %. Tämän jälkeen ka-pitoisuus alkoi nousta. POUTAINEN ja RINNE (1971) mittasivat nurminatimotein ka-pitoisuudeksi 3–4 lehtiasteella 20.5 %, tähkimisen alkaessa 21.2 %, tähkiessä 22.3 % ja kukinnan alkaessa 28.5 %. HUOKUNAN (1964) tutkimukset osoittivat, että kuitu- ja ka-pitoisuus olivat sitä suuremmat mitä pidemmät olivat niittovälit.

Kevään suotuisissa kasvuoloissa valkuaispitoisuuden aleneminen on nopeaa. Suomalaisissa tutkimuksissa kevätsadon raakavalkuaispitoisuuden aleneminen on ollut 0.4–1.0 %-yksikköä päivässä (HUOKUNA 1971 b, POUTAINEN ja RINNE 1971, ANTILA 1975). Jälkisadoissa valkuaispitoisuus alenee sitä hitaammin, mitä lähempänä ollaan kasvukauden loppua (SAU ja VIIRALT 1974). Koska nuori ruoho on valkuaispitoisempaa kuin vanha, sadon valkuaispitoisuus lisääntyy, kun lisätään korjuukertoja. Syyssato ei ole korjattaessa yleensä saavuttanut samaa kehitysastetta kuin kevätsato ja on siksi valkuaispitoisempaa kuin kevätsato.

Nuoren heinän korsien sulavuus on parempi kuin lehtien kukintojen ilmestymiseen saakka (MOWAT ym. 1965). Tämän jälkeen sulavuus alenee korsissa nopeammin kuin lehdistä. Kukintojen ilmestyessä heinien sulavuus heikkenee jyrkästi (TERRY ja TILLEY 1964). POUTIAISEN ja RINTEEN (1971) tutkimuksissa timoteinurminadalla 20 % kukinta-asteella orgaanisen aineen *in vitro*-sulavuus aleni 0.47 %-yksikköä päivässä. Tämän jälkeen sulavuuden lasku oli 1.0 %-yksikköä päivässä. Myöhemmillä kehitysasteilla nouseva ligniinipitoisuus alentaa rehun sulavuutta suhteellisen suoraviivaisesti, vaikka kuitupitoisuus ei enää lisääntynyt.

2. 4. Vesi ja typpi nurmen sadonmuodostuksessa

Kasvien vedentarve on kiinteästi sidottu haihtumisen voimakkuuteen, mikä puolestaan on lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja tuulen funktio (HALLGREN 1947). ELONEN (1974) toteaa, että Etelä-Suomessa nurmikasvit pystyvät tuottamaan hyvän ensimmäisen sadon, mutta jäkisatojen kasvu on suurelta osin sateiden ja sadetuksen varassa. HIIVOLAN (1965) tutkimuksissa kasvukauden sadeoloilla oli suuri osuus vuotuisiin satovaihteluihin nurmen jälkikasvussa. STÄHLININ (1959) laskelmien mukaan nurmen vedenkulutus etelärannikolla on 4.5 mm vuorokaudessa, jos keskilämpötila on 16° C. Keskilämpötilan muuttuessa 1° C se vaikuttaa kasvien kuukautiseen vedentarpeeseen 5 mm. HALLGRENIN (1947) tutkimuksissa 4.6 tonnin heinäsadon tuottamiseen touko–kesäkuussa tarvittiin n. 140 mm sademäärä, jos keskilämpötila oli +9° C. Keskilämpötilan muutos 14° C:een merkitsi 6 tn ha⁻¹ heinäsattoa samalta ajanjaksolta. Mainittuun satotasoon tarvittiin n. 200 mm:n sademäärä.

Veden puute maaperässä alentaa typen tehoa, koska muiden ravinteiden otto vaikeutuu (DEINUM 1966). Kun nurmen niitto vielä alentaa kasvien kykyä absorpoida vettä maaperästä (POHJAKALLIO ja ANTILA 1955), on kasvuston kasvuunlähtö niiton jälkeen hidasta kuivassa maassa.

Säilörehunurmen N-lannoituskokeissa (LAINE 1966) on havaittu, että N-lannoitus lisää nurmiheinien kuiva-ainesatoa lähes suoraviivaisesti lannoitus-tasolle 40 kg N ha⁻¹/niitto. Tämän jälkeen lisätyppellä saadaan yhä pienempi

sadonlisä. Typpilannoituksen ylittäessä 300 kg N ha⁻¹ kasvukaudella, kuiva-ainesadon kasvu ei ole enää merkityksellinen (LAINE 1954, JÄNTTI ja KÖYLI-JÄRVI 1964, HUOKUNA 1973).

GIÖBEL ja STEENIN (1965) mukaan raakavalkuissaadon kasvu on suoraviivaista lannoitustasolle 60 kg N ha⁻¹/niitto. Tämän jälkeen sadonlisäys alkaa hitaasti pienentyä. HIIVOLAN ym. (1974) mielestä myös raakavalkuissaatojen kannalta suurin käyttökelpoinen typpimäärä on 300 kg N ha⁻¹/v.

HIIVOLAN ym. (1974) tutkimuksissa niitettäessä nurmi säilörehuksi kolme kertaa kesässä raakavalkuispitoisuuden nousu ensimmäisessä niitossa oli suoraviivaista suurimmalle N-tasolle 200 kg N ha⁻¹ asti. Toisessa ja kolmannessa niitossa raakavalkuispitoisuuden nousu hidastui ylimmällä N-tasolla. RINTEEN (1976) tutkimuksissa suurin raakavalkuispitoisuuden nousu, 4.2 %-yksikköä, saavutettiin, kun N-lannoitus 50 kg N ha⁻¹/niitto kaksikertaistettiin.

3. Tutkimusaineisto ja menetelmät

3.1. Kenttäkokeet

Nurmen kasvurytmin ja sadonmuodostuksen suhteita käytettyyn viljelytekniikkaan ja tärkeimpiin kasvutekijöihin tutkittiin Viikissä erikseen apilainurmella vuosina 1974–76 ja puhtaalla heinänurmella 1975–78. Sekanurmella (s. 216) koejärjestely oli tyyppiä osaruutu 3 × 3 × 3. Faktoritasot pääruudussa edustivat eri niittosysteemejä ja osaruudussa ensimmäisen niiton ajankohtaa. Puhtaalla heinänurmella (s. 282) osa-osaruutu koejärjestely sisälsi faktoritasot 3 × 2 × 4 × 3, joista pääruuduissa esiintyivät niittosysteemit, osaruuduissa N-lannoitustasot ja osa-osaruuduissa kylvötiheydet. Apilainäinä sekanurmen siemenseos sisälsi puna-apilaa, timoteitä ja nurminataa painosuhteessa 20 : 20 : 60. Kylvömäärät puhtaalla nurminatanurmella olivat 7.5, 15, 30 ja 60 kg ha⁻¹. Typpilannoitus 270 kg ha⁻¹ seosnurmella oli kaikille käsittelyille sama ja jakaantui eri niitoille 2-, 3- ja 4-niittosysteemeissä (s. 217) mallin mukaisesti. Puhtaalla heinänurmella tutkitut N-tasot 130 N ja 260 N ha⁻¹ jaettiin eri niitoille edellä esitetyissä niittosysteemeissä (s. 283) mallin mukaisesti. Niittopäivät sekanurmella ja puhtaalla kasvustolla olivat (s. 218, s. 283) aikataulun mukaiset.

Nurmen kasvuun ja sadonmuodostukseen liittyvät analyysit

Sekakasvuston pituus mitattiin jokaisen ruudun kaikissa niitoissa viidestä kohdasta kasvukausina 1974–76. Kuiva-aine-, raakavalkuais- ja sulavuusnäytteet sekä näytteet kuiva-aineen energiamittauksia varten otettiin niitotain. Puhtaan heinäkavuston kasvuston pituus mitattiin kylvövuonna 1975 viikottain koko kasvukauden ajan. Vuosina 1976–77 määrättiin sekä LAI että kasvuston pituus viikottain keväällä sekä kesä- ja syyskasvun niitoista. LAI määritettiin 275 cm²:n alalta ruuduittain.

Raakavalkuispitoisuus ja kuiva-aineen sellulaasisulavuus mitattiin 1976 kevä-, kesä- ja syyskasvussa viikottain. Vuonna 1977 kevä-, kesä ja syys-

kasvulle määritettiin edellisten lisäksi myös kuiva-ainepitoisuuden kehittyminen viikottain.

Säähavainnot lämpötilan, säteilyn ja sadeolojen osalta saatiin koealueen viereiseltä Malmin lentoasemalta.

3. 2. Laboratoriomenetelmät

Kuiva-aineen määritykset tehtiin 2×200 g:n silputuista näytteistä, jotka kuivattiin $36 \text{ t } 100^\circ \text{C}$. Raakavalkuais- ja sulavuusnäytteet valmistettiin silputusta 500 g:n tuorenäytteestä ja kuivattiin $24 \text{ t } 70^\circ \text{C}$. Raakavalkuais- ja sulavuustutkimusta varten näytteet jauhettiin KAMAS analyysimyllyllä seulakoon ollessa $1/40''$. Typpimääritykset tehtiin KJELDAHL-menetelmällä. Valkuaispitoisuudet laskettiin muuntokertoimella 6.25. Sulavuusmäärityksissä käytettiin JONES & HAYWARDIN (1973) kehittämää kemiallista yksivaiheista sellulaasisulatusta. Kuiva-aineen sellulaasisulavuudet muutettiin kuiva-aineen *in vitro*-sulavuudeksi PULLIN (1976) mallin mukaisesti. Nurminadalle määritettiin erikseen kuiva-aineen sellulaasisulavuuden ja *in vitro*-sulavuuden välinen riippuvuus.

Kuiva-aineen energiasisältö määritettiin Phillipson oxygen microbomb kalorimetrillä PHILLIPSONIN (1964) mallin mukaisesti, jossa tutkittavan näytteen energia-arvoa verrattiin bentsoehapon tarkoin tunnettuun energia-arvoon.

Kasvilajianalyysit tehtiin 1 kg:n painoisesta tuoreesta kasvustonäytteestä erottamalla puna-apilan, timotein ja nurminadan lisäksi juolavehnä sekä kuolleen materiaalin osuus sadosta. Erottamisen jälkeen satokomponentit kuivattiin ja jauhettiin valkuaisen ja sulavuuden määrittystä varten.

3. 3. Tilastomatemattinen käsittely

Monitekijäkokeiden tutkimusmallit eri satokomponenttien osalta varianssi-analyysinä ja valikoivat regressiomallit analysoitiin Viikin tietokonepäätteellä BURROUGHS 6700 tietokoneella. Kasvumalleihin liittyvät analyysit tehtiin HP-2000 päätteellä.

Lämpötilasumman määrittämisestä varten tutkittiin satotason ja lämpötilasumman välinen riippuvuus (r) kevätkasvustossa 1976–77 käyttäen tehoisan lämpötilasumman kynnsarvoina lämpötilojä $C^\circ = 0, 1, 2, 3, 4$ ja 5 . Selvitykset tehtiin typpitasoilla $N_1 = 130 \text{ kg N ha}^{-1}$ ja $N_2 = 260 \text{ kg N ha}^{-1}$ sekä molemmat N-tasot samassa mallissa. Tulokset olivat seuraavat:

$C \geq^\circ$	0	1	2	3	4	5
N_1	.954	.946	.936	.923	.906	.885
N_2	.942	.933	.922	.908	.890	.867
$N_1 + N_2$.945	.936	.925	.912	.895	.873

Tämän perusteella valittiin nurmilla kumulatiivisen lämpötilasumman laskenta-perusteeksi $C^\circ = 0$.

Kuiva-ainesadon, LAI:n, kasvuston pituuden, sadon kuiva-ainepitoisuuden, valkuaispitoisuuden ja sulavuuden määrittämiseksi ajan tai lämpötilasumman

funktiona testattiin ensimmäisen, toisen ja kolmannen asteen polynomifunktiot, neliöjuurifunktio, transsendentaalifunktio sekä toisen ja kolmannen asteen eksponentiaaliset polynomifunktiot vuoden 1976 ja 1977 kevätkasvusta ($n = 12$). Tulokset kuiva-ainesadoista (w) kasvuajan funktioina ovat seuraavat:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. $y = a + bx$ | $W = -821.39 + 98.4752 X$
$R = .948$
$SD\bar{y} = 780.8$ |
| 2. $y = a + bx + cx^2$ | $W = 26.86 - 0.403717 X + 1.55317 X^2$
$R = .9984$
$SD\bar{y} = 154.6$ |
| 3. $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ | $W = 1.58 - 65.7516 X + 4.21201 X^2 - 0.00261 X^3$
$R = .9997$
$SD\bar{y} = 77.7$ |
| 4. $y = a + b\sqrt{x} + cx$ | $W = 1129.37 - 1402.19\sqrt{X} + 254.877 X$
$R = .9993$
$SD\bar{y} = 91.86$ |
| 5. $y = ax^b e^{cx}$ | $W = 0.01473 X^{3.60169} e^{-0.0318843 X}$
$R = .9990$
$SD\bar{y} = 86,34$ |
| 6. $y = \exp(a + bx + cx^2)$ | $W = \exp(4.10863 + 0.124892 X - 0.0008272263 X^2)$
$R = .9992$
$SD\bar{y} = 77.41$ |
| 7. $y = \exp(a + bx + cx^2 + dx^3)$ | $W = \exp(4.46802 + 0.101121 X - 0.000319 X^2 - 0.0000035 X^3)$
$R = .9992$
$SD\bar{y} = 63.54$ |

Näiden testien perusteella valittiin S-muotoiseksi yhtälömalliksi kolmannen asteen polynomi, joka erittäin hyvin kuvaa sekä kiihtyvän, suoraviivaisen että vähenevän kasvun muutoksia. Valintaperusteena olivat mallin selittävyys ja standardipoikkeama. Kolmannen asteen polynomien lisäksi käytettiin ensimmäisen ja toisen asteen polynomia silloin kuin se selitysasteen perusteella oli tarkoituksenmukaisinta.

Sadon eri komponenttien muutoksia ja muutoksien suhdetta testattiin valikoivassa regressioanalyysissä. Mallin hylkäysperusteena käytettiin $P \leq .90$.

4. Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu

4.1. Kasvutekijöiden suhde nurmen kasvurytmiin ja sadonmuodostukseen

Sadon ja kasvutekijöiden välinen riippuvuus on aina kiinnostanut tutkijoita. Suomalaisista tutkimuksista vanhimmat LEMSTRÖM (1878) ja JOHANSSON (1912) selvittivät auringonpilkkujen määrän vaikutusta satoisuuteen. Myöhemmissä tutkimuksissa aina 1970-luvun riskitutkimuksiin saakka tutkimuksen kohteina ovat olleet lämpötila, sademäärä sekä valoisuus ja näiden suhde

sadonmuodostukseen tai käytettyyn viljelytekniikkaan (KORHONEN 1918, 1920, STIGELL 1920, JOHANSSON 1912, 1924, KERÄNEN 1925, 1931, SALMINEN 1930, SINISALO 1937, POHJAKALLIO 1943, 1951 a, 1951 b, 1952, 1954, 1957, LUNELUND 1944, HUSTICH 1947, 1950, 1952, KIISKINEN 1957, PAATELA 1958, PESSI 1958 a, b, c, POHJANHEIMO 1959, PAATELA ja SUOMELA 1960, 1962, BRUMMER 1961, TÄHTINEN 1962, YLLÖ 1963, 1964, VARIS 1970, HOOLI 1971). 1970-luvulla on julkaistu MUKULAN ja VARIKSEN johdolla lukuisia edellisiin verrattavia eri viljelykasvien riskialttiutta käsitteleviä tutkimuksia.

Nurmikasveilla alkukesä on tehokasta kasvuaikaa. Kevätpäivä on pitkä, säteilyn intensiteetti on korkea, lämpötila on suotuisa ja lumen sulamisesta johtuen vettä on runsaasti kasvien käytettävissä. Keskipäivällä on lämpöä ja valoa riittävästi, mutta niiden käyttöä rajoittaa usein kasveille käyttökelpoisen veden puute. Nurmien kehitykselle loppukesällä on tyypillistä kasvun hidastuminen kasvin virittyessä talvehtimiseen ja seuraavaan kasvukauteen. Nämä RAPPEN (1948) havainnot sopivat erittäin hyvin niihin kasvutekijöiden ja sadonmuodostuksen välisiin suhteisiin, joita tarkasteltiin myös näissä tutkimusarjoissa.

LAI, pituuskasvu ja kuiva-ainesato

Tutkimuksen luonteesta johtuen kylvövuoden sadonmuodostusta tutkittiin rajoitetusti. Sadonmuodostusta kuvaavina parametreinä käytettiin LAI:n ja kasvuston pituuden kehitystä. Merkittävää oli, että tutkitut kasvutekijät korreloivat voimakkaasti sadonmuodostukseen (taulukko 3, s. 288). Valikoivassa regressioanalyysissä kasvuajan lämpötila- ja säteilysumma selittivät 99.1 % kylvövuoden LAI:n alkukehitystä. Pituuskasvua lämpötila selitti 98.5 %, eikä malliin muita muuttujia annettujen rajoitusten ($P \geq 90$) sisällä mahtunut. Ensimmäisen ja toisen vuoden nurmissa korreloivat kasvutekijöistä kevätkasvussa voimakkaimmin LAI:n kanssa puhtaassa kasvustossa lämpötilasumma ja kasvuaika, kuiva-ainetuotantoon taas kasvuaika ja kevään sadesumma (taulukko 6 s. 296), sekä sekanurmessa lämpötilasumma ja kasvuaika (taulukko 2 s. 223). Valikoivassa regressioanalyysissä LAI:n kehitystä selittävät 81.6 %:sti kasvuaika ja kasvuajan lämpötilasumma. Kuiva-ainetuotannossa kasvuaika, N-lannoitus, lämpötilasumma ja sadesumma selittivät 99.9 % koko nurminatanurmen sadon muuntelusta. Lämpötilasumma yksinään kuvasi sekanurmen kuiva-ainetuotantoa 91.4 %. Kasvu-ajan ja lämpötilasumman erilainen selittävyys puhtaalla kasvustolla ja sekanurmella johtuu ilmeisesti siitä, että puhtaassa kasvustossa malliin voitiin lukea N-lannoitus ja toisaalta siitä, että sekakasvustossa kasvupäivät luettiin samasta ajankohdasta kuin lämpötilasumma ($\Sigma > 0^\circ \text{C}$) ja puhtaassa kasvustossa alkaen vuorokauden keskilämpötilasta $+5^\circ \text{C}$. Kasvuston pituuskasvu keväällä korreloi voimakkaasti (taulukko 9 s. 235) kaikkiin tarkasteltuihin kasvutekijöihin, mutta merkittävimmin lämpötilasummaan. Valikoivassa regressioanalyysissä lämpötila yksinään selitti 95.2 % kaikesta sekanurmen pituuskasvusta.

Keskipäivällä muutokset nurmen kasvussa olivat epäsäännöllisempiä kuin keväällä. Kasvuston lehtialaan korreloi voimakkaimmin edellisen niiton kasvupotentiaali (taulukko 7 s. 297), kuiva-ainesatoon vesi (taulukko 2 s. 223). Valikoivassa regressioanalyysissä keskikesän niittojen sadonmuodostukseen vai-

kutti voimakkaimmin LAI:n osalta N-lannoitus ja kuiva-ainesadon osalta viikkoa ennen edellistä niittoa saatu sade. Myös pituuskasvua korreloivat voimakkaasti vesitekijät (taulukko 9 s. 235) ja valikoivassa regressiomallissa esiintyi vain veteen liittyviä muuttujia. Koska typpilannoituksella on osittain mahdollista torjua kuivuuden vaikutuksia (MELA 1974), N-lannoitus näyttää vaikuttavan kasvuun keskikesällä suhteellisesti enemmän kuin keväällä. Kuitenkin kuten POHJAKALLIO ja ANTILA (1955) totesivat, nurmikasvien niitto kuivan kauden kohdalla on erittäin raskasta kasvustolle, koska katkaistu verso pystyy ottamaan maasta vettä vain 1–2 ilmakehän paineella, ja maa-hiukkaset pitävät vettä kiinni huomattavasti suuremmalla voimalla.

Syyskasvussa merkittävimmin kuiva-ainesatoon (taulukko 2 s. 223, taulukko 8 s. 299) korreloivat kasvuston kasvupotentiaali viimeistä edellisessä niitossa, N-lannoitus ja vesi. Myös syyskasvun valikoivassa regressiomallissa tärkeä muuttuja oli edellisen niiton kasvupotentiaali kuvastaen sitä tosiasiaa, että jos kasvusto kuivan keskikesän jälkeen on painunut horrokseen, jälkikasvua ei saada. Syksyn satotasoa nostaa myös niitolle tuleva sade ja N-lannoitus, ja sitä alentaa syksyn läheisyydestä johtuva valon puute. Nurmikasvit kasvavat tyydyttävästi suhteellisen alhaisissakin lämpötiloissa, joten muiden kasvutekijöiden rajoittuneisuus on usein lämpötilaa tärkeämpi neljännän niiton sadonmuodostuksessa. Pituuskasvun ja kasvutekijöiden suhteet syksyllä ovat hyvin samanlaiset kuin kuiva-ainetuotannossa havaittu malli (taulukko 9 s. 235). Syksyä kohti kasvutekijät heikkenevät. Kasvuolojen vuoksi pituuskasvu ei johda generatiiviseen vaiheeseen, joten korsiintuminen on vähäistä. Samoin keskikesän kuivuus alentaa metabolisen aktiviteetin alueelle, josta kasvin on vaikea toipua.

Kasvutekijät ja sadon laatu

Nuoressa ruohossa solut ovat soluliman täyttämiä. Myös soluseinät sisältävät runsaasti vettä (KRAMER 1959). Kasvin kehittyessä soluseinämät paksunevat ja kuiva-aineen osuus lisääntyy lehdissä. Kasvin vanhetessa ligniinin osuus lisääntyy ja sadon kokonaiskuiva-ainepitoisuus kasvaa valkuaispitoisuuden ja sulavuuden laskiessa.

Voimakkaimmin kuiva-ainepitoisuuden muutoksiin vuosien 1974–77 kevät-kasvuissa vaikuttivat lämpötila- ja säteilysumma (taulukko 11 s. 239, taulukko 6 s. 296). Valikoivassa regressioanalyysissä kevään säteily yksinään selitti 82.6 % puhtaan heinänurmen kuiva-ainepitoisuuden muutoksista. Sekanurmella lämpötila, sadesumma ja säteily selittivät 93.0 % vastaavasta muunte-
lusta. Keskikesällä kuiva-ainepitoisuuteen puhtaassa kasvustossa korreloi vain sadesumma, sekanurmella veden lisäksi edellisen niiton kasvupotentiaali ja kasvustolle saatu säteily määrä (taulukko 11, s. 239, taulukko 7 s. 297). Silloin kun vesi ei ole kesäkasvua rajoittava tekijä tärkein selittävä tekijä regressiomallissa on kasvu aika ja edellisen niiton sato, kuivissa olosuhteissa taas säteily, sade ja lämpötila yhdessä toisen niiton satopotentiaalinsa kanssa. Syksyn kuiva-ainepitoisuuden lisääntymiseen vaikutti kiihdyttävästi säteilysumma. Kuiva-ainepitoisuuden hidastuvaan kasvuun vaikuttivat N-lannoitus, viimeistä edellisen niiton dormanssista vapaa kasvusto ja edelliselle niitolle saatu sade. Mer-

kittävä oli, että vedellä oli merkitystä myöhäissyksyn sadon määrän ja laadun muodostumiseen.

Kevätkasvun raakavalkuaispitoisuudella oli voimakas negatiivinen korrelaatio lämpötilasummaan (taulukko 14 s. 245) ja säteilysummaan (taulukko 6 s. 296). Valikoivassa regressiomallissa, jossa N-lannoitus oli riippumattomana tekijänä, säteilyllä oli lämpötilaa merkittävämpi rooli. Sadesummalla oli valkuaispitoisuutta alentava vaikutus.

Kesäkasvussa tyypellä oli voimakas korrelaatio sadon valkuaispitoisuuteen (taulukko 7 s. 297). Valikoivassa regressioanalyysissä N-lannoitus oli tärkein raakavalkuaispitoisuuden muutosta selittävä kasvutekijä keskikesällä. Kesäkesän alkupuolella tärkeitä muuttujia olivat lisäksi sadesumma ja säteilysumma, keskikesän loppupuolella lämpötila- ja säteilysumma. Syyskasvun raakavalkuaispitoisuuteen ei mikään tutkituista kasvutekijöistä yksinään vaikuttanut merkittävästi (taulukko 14 s. 245, taulukko 8 s. 299). Valikoivassa regressioanalyysissä todettiin, että syksyn rajoitetuissa kasvutekijäoloissa tutkituista kasvutekijöistä kaikilla eli säteilyllä, lämpötilalla, vedellä, N-lannoituksella ja kasvuston fysiologisella aktiviteetilla oli merkittävä asema syyssadon valkuaispitoisuuden kehittymiseen.

Kuiva-aineen sellulaasisulavuus korreloi voimakkaimmin kevätkasvussa kasvuajan ja lämpötilasumman kanssa (taulukko 16 s. 251, taulukko 6 s. 296). Nurminatanurmen regressiomalliin mahtuivat kaikki tutkitut kasvutekijät, sekanurmella vain lämpötila ja säteily. Mallien selittävyyydet olivat 99.1 ja 89.7 %. Kuiva-aineen sellulaasisulavuutta kesäkasvussa selittivät sekä suorina korrelaatioina että regressiomallissa parhaiten vesitekiäjät. Syyskasvun sellulaasisulavuutta kuvaavaan malliin mahtuivat puhtaassa heinäkasvustossa vesitekiäjät, sekanurmella lämpötila. Syyskasvun kuiva-aineen sellulaasisulavuuden muutoksia voitiin selittää 64.4 % vuosina 1974–75 ja 86.8 % vuosina 1976–77.

4.2. Kasvumalli sadon määrän ja laadun kuvaajana

Kevätkasvun kasvumalleille oli ominaista kaikkien tutkittujen ominaisuuksien suhteellisen voimakkaat muutokset (kuva 5 s. 300). Kaikki regressioyhtälöt noudattivat kolmannen asteen S-muotoisia käyriä. Keskikesällä nurmen kasvun korreloituminen oli kasvuaikaan nähden heikompi ja kasvuajan lämpötilasummaan nähden huomattavasti heikompi kuin kevätkasvussa (kuva 6 s. 301). Keskikesällä on todettavissa erittäin hitaat muutokset kuiva-aine- ja raakavalkuaispitoisuuksissa. Myös sellulaasisulavuus aleni suhteellisen hitaasti ja suoraviivaisesti.

Syyskesällä muutokset olivat keskikesän muutoksia vieläkin hitaammat (kuva 7 s. 303). Erittäin havainnollisena kasvukauden eri ajankohtien kasvupotentiaali ilmenee kuvassa 8 s. 304, jossa samalla LAI-yksiköllä saadaan keväällä suurempi ka-sato kuin kesällä ja syksyllä. Satoerot lisääntyvä LAI:n kasvaessa. Ilmiötä tukevat KELLYN (1958) havainnot, joissa kevätkasvu oli voimakkaasti generatiivista, ja satotasoon voimakkaimmin vaikuttava tekijä oli kasvuston korsiantumisesta johtuva pituuskasvu. Syksyä kohden kasvu kasvutekijöiden intensiteetin alentumisesta johtuen oli vegetatiivista, sekä

pituuskasvultaan vähäistä. Suoraviivaisen korrelaation selittävyuden paraneminen (kuva 8 s. 304) merkitsi sigmoidisen kasvukäyrän suoriutumista kohti syksyä.

Kevätkasvussa LAI:n kasvaminen yhdellä yksiköllä lisäsi satoa 710 kg ha^{-1} . LAI:n maksimi 8.5 saavutettiin 55 päivän kuluttua kasvun alkamisesta keväällä lämpötilasummalla 550°C (kuva 5 s. 300). Sekä kasvuajan että lämpötilasumman avulla lasketun LAI:n pieneneminen kevätkasvun loppupuolella osoittaa, että pidempään kasvatettu nurmi oli ohittanut huomattavasti LAI:n avulla määritetyn optiminiittoajan, vaikka pituuskasvu vielä jatkuikin. Saman havainnon ovat tehneet BROWN ja BLASER (1968). Saadut LAI-arvot vastasivat myös muissa tutkimuksissa nurmiheinillä saatuja LAI:n maksimiarvoja (EVANS 1964, RAININKO 1968). Kuiva-ainesato lisääntyi kevätkasvussa aikavälillä 40–60 pv kasvun alkamisesta 157 kg pv^{-1} . Kasvuajankohta vastaa lämpötilasumma-alueetta $350\text{--}750^\circ \text{C}$. Tulokset ovat yhteneväisiä RINTEEN (1977) tutkimusten kanssa. Raakavalkuaispitoisuus laskee voimakkaammin lämpötilasumman ollessa $150\text{--}350^\circ \text{C}$, jolloin lämpötilasumman nousua 10°C :n verran vastasi 0.17 % raakavalkuaispitoisuuden aleneminen (kuva 5 s. 300). Samanaikaisesti nurminatanurmen kuiva-ainepitoisuuden lisääntyminen oli 0.4 %-yksikköä jokaista lämpötilasumman nousua 10°C kohti. Apilaheinänurmella kuiva-ainepitoisuus (kuva 6 s. 233) nurminatanurmesta poiketen aleni kevätkasvussa lämpötilasummaan 420°C , jolloin kasvuston pituus oli 46 cm ja satotaso 2.6 tn ha^{-1} . Tämän jälkeen kuiva-ainepitoisuus nousi lineaarisesti. Sekanurmen tulokset vastaavat SALON ym. (1975) havaintoja. Kuiva-aineen sellulaasisulavuus parani ensin keväällä ja alkoi alentua hieman myöhemmin kuin raakavalkuaispitoisuus. Sellulaasisulavuuden aleneminen lämpötilasumman ollessa $250\text{--}650^\circ \text{C}$ oli n. 0.6 %-yksikköä jokaista 10°C nousua kohti. Sekanurmen kasvu oli tehokkainta keväällä lämpötilasumma-alueella $400\text{--}500^\circ \text{C}$ (kuva 6 s. 233). Jos kuiva-aineen valkuaispitoisuuden alarajaksi asetetaan 16 %, tämä edustaa satotasoa 5 tn ha^{-1} , jonka kuiva-ainepitoisuus on n. 24 % ja kuiva-aineen *in vitro* -sulavuus n. 73 %. Sadon tuottamiseen käytettiin 575°C . Kasvu-aikaa sadon tuottamiseen tarvittiin 55 pv.

Keskikesällä yhtä LAI-yksikön nousua vastasi 500 kg ha^{-1} kuiva-ainesadon lisäys (kuva 6 s. 301). Raakavalkuaispitoisuuden aleneminen oli 0.1 %-yksikköä ja sellulaasisulavuuden aleneminen 0.4 %-yksikköä lämpötilasumman alueella $200\text{--}400^\circ \text{C}$ jokaista 10°C :n lisäystä kohti. Vastaavan ajan kuiva-ainepitoisuuden nousu oli 0.1 %-yksikköä, jokaista 10°C :n lisäystä kohti. Sekanurmen kasvumalli osoitti, että jos jokin kasvutekijä kuten vesi on minimitekijänä, kasvupäivien ja sadon määrän tai laadun ja toisaalta lämpötilan ja sadon eri komponenttien välistä suhdetta on vaikea kuvata polynomifunktiona. Parhaimman selityksen antaa valikoiva regressioanalyysi.

Syksyllä LAI:n kasvu oli alkuvaiheissaan (kuva 7 s. 303) kesällä havaitun mukainen, mutta jatkui pidemmälle. Syksyn sadonlisäys oli voimakkaasti lehti-alan kasvua. Syyskasvussa yhden LAI-yksikön kohoaminen lisäsi kuiva-ainesatoa 115 kg ha^{-1} . Muutokset sadon laadussa olivat erittäin vähäisiä (kuva 7 s. 303, taulukko 12 s. 244).

4.3. Kuiva-ainesadon suhde viljelytekniikkaan

Ensimmäisen niiton ajankohta

Apila-heinänumrella tehdyt tutkimukset osoittivat, että nurmen jälkikasvu oli kaikilla niittotiheyksillä sitä parempi mitä aikaisemmin ensimmäinen niitto suoritettiin (taulukko 4 s. 228). Ilmeistä on, että edullisin ensimmäisen niiton ajankohta on silloin, kun ka-pitoisuus on lähes alhaisimmillaan. Näissä tutkimuksissa mainittu kasvuvaihe saavutettiin lämpötilasumman ollessa 420°C ($\Sigma > 0^{\circ}\text{C}$) (kuva 6 s. 233). Tällöin kasvuston kuiva-ainepitoisuus oli 16.8 % (kuva 6 s. 233) ja kasvuston pituus 46 cm. Tulokset ovat lähes identtiset SALON ym. (1975) havaintojen kanssa. Ensimmäisen niiton ajankohdan myöhästyttäminen lisäsi kasvukauden kokonaissatoa 2- ja 3-niittosysteemissä, mikä tukee POIJÄRVEN (1931) ja TEITTISEN (1959) havaintoja. 4-niittosysteemissä kasvukauden kokonaissato kasvaa ensimmäisen niiton ajankohtaa myöhästyttäessä ilmeisesti aina, jos jokin kasvutekijä kuten vesi on rajoittavana tekijänä (taulukko 5 s. 229). Kasvutekijöiltään suotuisana kasvukautena edellä kuvattuun kevään kuiva-ainepitoisuuden taitekohdan läheisyyteen liittyy todennäköisesti 4-niiton edullisin ensimmäisen niiton ajankohta.

Säteilyn hyväksikäyttö kuiva-ainetuotannossa

GUTHRIEN (1971) ohjearvojen mukaan rasvojen pommikalorimetrinen lämpöarvo on 9.45 Kcal g^{-1} , hiilihydraattien 4.1 kcal g^{-1} ja raakaproteiinien 5.65 kcal g^{-1} . Apila-heinä sekanurmella energia-arvot vaihtelivat eri käsitellyillä eri osilla kasvukautta välillä $4.274\text{--}4.633\text{ kcal g}^{-1}$ kuvastaen muutosta paljaista hiilihydraateista muihin kasvin rakennusaineisiin (taulukko 6 s. 230). Merkille pantavaa on kevään ja syksyn korkeat energia-arvot.

Kasvuston fotosynteesin tehokkuus vaihteli 1974 välillä 0.83–1.12 % käytettävissä olevan kokonaissäteilyn määrästä. Vastaavat tehokkuusarvot 1975 olivat 0.31–0.68 % kuvastaen veden merkitystä yhteyttämiselle (taulukko 7 s. 231, kuva 5 s. 231). Saadut yhteyttämistehokkuudet vastaavat arvoja 0.77–2.80 % mitattuna näkyvän valon määrästä. Määritetyt sekanurmen fotosynteesin tehokkuudet ovat samaa luokkaa kuin RABINOWITCHilla (1945) tai HOLLIDAYlla (1966), joilla yhteyttämistehokkuudet olivat 0.80 ja 0.83 % kokonaissäteilystä ja 2.00 ja 2.07 % mitattuna näkyvän valon alueella.

Typpilannoitus ja niittotiheys

Typpilannoitus lisäsi kuiva-ainesatoja merkittävästi jokaisessa niittosysteemissä (taulukko 10 s. 309). Typpilannoituksen 130 kg N ha^{-1} kaksinkertaistaminen kohotti kuiva-ainesatoa keskimäärin $1\ 110\text{ kg ha}^{-1}$. Yhdellä typpikilolla saatu sadonlisä oli 8.5 kg kuiva-ainetta. Sadonlisä vastasi lukuisia muita kotimaisia tuloksia (LAINE 1966, RINNE 1971, HIIVOLA ym. 1974). Typpilannoituksen 130 kg N ha^{-1} kaksinkertaistaminen lisäsi kuiva-ainesatoa 848 , $1\ 248$ ja $1\ 303\text{ kg ha}^{-1}$ 2-, 3- ja 4-niittosysteemeissä vastaten 6.5 , 9.6 ja 10.0 kg ka lisätyppikiloa kohti. Lisätyypen käyttö 4-niittosysteemissä oli 35 % tehokkaampaa kuin 2-niittosysteemissä. Tästä huolimatta keskimääräiset sadot 2-, 3- ja 4-niitossa $9\ 245$, $7\ 902$ ja $6\ 717\text{ kg ha}^{-1}$ kuvastivat selvästi, että

paras kuiva-ainetuotos saavutettiin 130 tyypikilolla 2-niittosysteemissä, jolloin ensimmäisen niiton myöhästyttämisellä on ratkaiseva merkitys. Typen ja niittokertojen lisääminen nosti satoa, mutta ennen kaikkea paransi sadon laatua.

Kasvutiheys ja kasvilajisuhteet

Puhdaskasvustossa kylvövuoden suurin sato saatiin kylvömäärällä 60 kg ha⁻¹ (taulukko 4 s. 292). Ensimmäisenä varsinaisena satovuonna tilastollinen maksimisato saavutettiin kylvömäärällä 30 kg ha⁻¹ ja toisena satovuonna kylvömäärällä 15 kg ha⁻¹ (taulukko 10 s. 309). Tulokset vastaavat hyvin LAINEEN (1958) ja JÄRVEN (1977) käsityksiä. Kolmantena satovuonna tilastollinen maksimisato tuotettiin kuten LAINE (1958) pienemmällä käytetyllä siemenmäärällä 7.5 kg ha⁻¹ (kuva 19 s. 321). Kasvusto hakee tasapainoista kasvutiehyyttä kuten DONALD (1956) on osoittanut.

Lajin sisäisessä kilpailussa ilmeni, että lisättäessä niittokertojen lukumäärää tarvittiin hieman suurempi kylvömäärä (taulukko 10 s. 309). Huomattavana poikkeuksena oli 2-niittosysteemin alempi N-taso, jossa kilpailu nosti kasvuston kuiva-ainepitoisuutta ja kuiva-ainesatoa korkeilla kasvutiheyksillä. Tyypilannoitus DONALDin (1951) tapaan lisäsi maksimisatoon vaadittavaa kasvutiheyttä.

Lajien välinen kilpailu sekakasvustossa osoitti, että ensimmäisen niiton myöhästyttämisellä oli varsin vähän merkitystä kasvilajien satojakautumaan poikkeuksena 2-niittosysteemi, jossa ensimmäisen niiton ajankohdan myöhästyttäminen lisäsi puna-apilan osuutta merkittävästi (taulukko 19 s. 260). Seoksessa timotein kevätkasvu pysähtyi kesäkuun loppuun mennessä, jolloin sen syrjäytti puna-apila. Toisessa niitossa timotein kasvu pysähtyi heinäkuun puoliväliin mennessä, jolloin sen syrjäytti nurminata. Nurminadan jälkikasvu kolmannessa niitossa oli parempi kuin puna-apilan ja huomattavasti parempi kuin timotein. Timotein ja puna-apilan jälkikasvu verrattuna nurminataan oli erittäin vähäinen myöhäissyksyn kasvussa.

4. 4. Sadon laatu ja viljelytekniikka

Ensimmäisen niiton ajankohta

Kasvuston kuiva-ainepitoisuus kokonaissadoissa aleni (taulukko 10, s. 239) 4-niittosysteemissä ja kohosi 3- ja 2-niittosysteemissä ensimmäisen niiton ajankohtaa myöhästyttäessä. Syynä tähän kehitykseen 4-niittosysteemissä olivat edellä tarkastellut kuiva-ainepitoisuuden suunnan muutokset kasvustossa (kuva 7, s. 238). Kasvuston erittäin voimakas kehitys keväällä ennen ensimmäisiä niittoja merkitsi sitä, että ensimmäinen niitto tehtiin sadon kuiva-ainepitoisuuden ollessa nouseva. Edellä kuvattu kasvuvaihe yhdessä vedenpuutteen kanssa keskikesällä johtivat siihen, että kuiva-ainepitoisuus nousi kaikissa niittosysteemeissä ensimmäisen niiton ajankohtaa myöhästyttäessä.

4-niitossa kasvukauden kokonaissadon raakavalkuaispitoisuuteen vaikutti se, oliko ensimmäinen niitto tehty kuiva-ainepitoisuuden ollessa aleneva tai nouseva. Muutoin ensimmäisen niiton ajankohdan myöhästyttäminen tai niittokertojen väheneminen alensivat kuiva-aineen raakavalkuaispitoisuutta

(taulukko 13, s. 245). Sulavuuden muutoksissa havaittiin kuiva-ainepitoisuuden ja raakavalkuaispitoisuuden mallista poikkeava käyttäytyminen, mikä ilmeisesti johtuu siitä, että sulavuudella ja jälkikasvulla ei ole läheskään niin merkittävää riippuvuutta kuin edellä mainituilla laatuominaisuuksilla (taulukko 15, s. 250).

Kasvilajien laatu seoksessa

Timotein, nurminadan ja puna-apilan keskimääräiset raakavalkuaispitoisuudet 4-niitossa olivat 19.0, 19.8 ja 23.1 %, 3-niitossa 18.1, 19.0 ja 21.5 % sekä 2-niitossa 15.1, 16.1 ja 18.8 %. Keskimääräinen valkuaispitoisuus seosnurmessa koko kasvukauden aikana kaikilla käsittelyillä oli timoteilla 17.4 %, nurminadalla 18.3 % ja puna-apilalla 21.1 % (taulukko 20, s. 263). Puna-apilan ja juolavehnän raakavalkuaispitoisuudet olivat seoksen valkuaispitoisuuksia korkeammat kaikissa niitoissa 4-, 3- ja 2-niittosysteemissä (kuva 13, s. 264). Eri kasvilajien sulavuudet osoittivat, että timoteilla ja nurminadalla sulavuuksien muutokset olivat voimakkaita, puna-apilalla hitaita (taulukko 21, s. 265). Niittotiheyden lisääminen nosti kuiva-aineen sellulaasisulavuutta heinillä, mutta laski jonkin verran puna-apilalla. Sulavuudet kuvastavat heinien hyvää kilpailukykyä voimakkaasti N-lannoitettaessa ja puna-apilan hitaampaa kasvurytmiä sekä hyvää määrällistä ja laadullista kilpailukykyä pitkän kehitysjakson omaavilla niitonurmilla. Tuloksista ilmenee kuten PRITCHARD ym. (1963) sekä CHRISTIE ja MOWAT (1968) totesivat, että aikaisilla heinätyypeillä sulavuus on parempi kuin myöhäisillä typeillä. Toisaalta myöhäisten kasvilajien kuten puna-apilan sulavuus pysyy hyvänä pitempään (MINSON ym. 1964, RAYMOND 1969).

Niittojen lukumäärä, N-lannoitus ja kasvutiheys suhteessa sadon laatuun

Niittojen lukumäärän pienentäminen merkitsi sadon laadun huomattavaa heikentymistä, mitä kuvaa korkea kuiva-ainepitoisuus sekä aleneva raakavalkuaispitoisuus ja kuiva-aineen sellulaasisulavuus (taulukot 10, 13, 15, 9, 12, 14, sivut 239, 245, 250, 307, 311, 316). Niittojen lukumäärillä oli vähäinen vaikutus pinta-alayksiköltä saatuun valkuaisatoon (taulukko 17 s. 256, taulukko 13, s. 314).

Kuten mm. LAWRENCE ym. (1971) tutkimuksissaan ovat todenneet, sadon määrä ja laatu olivat kiinteässä korrelaatiossa eri niittosysteemeissä, joten sadon laatuun vaikutti ratkaisevasti sadon jakautuma niittojen kesken eri niittosysteemeissä.

Typpilannoitus alensi sadon kuiva-ainepitoisuutta kaikissa niittosysteemeissä, kuitenkin tilastollisesti merkittävästi vain 4-niittosysteemissä (taulukko 9, s. 307). Typen määrän kaksinkertaistaminen nosti sadon raakavalkuaispitoisuutta 4.2 %-yksikköä. Vastaava raakavalkuaissadon lisäys oli 485 kg ha⁻¹, mikä vastaa HIIVOLAN ym. (1974) tuloksia. Typpilannoituksella oli vähäisin vaikutus kuiva-aineen sulavuuteen 4-niittosysteemissä ja paras vaikutus niitettäessä kaksi kertaa. STEENIN (1972) mukaan N-lannoitus parantaakin lähinnä valkuaisen, mutta ei juuri muiden aineosien sulavuutta.

Sadon laatuun kylvötiheydellä oli vähäinen vaikutus. Kuiva-ainepitoisuuden ja sellulaasisulavuuteen kylvötiheys ei vaikuttanut lainkaan. Tulokset vastaavat PULLIN (1973) havaintoja sinimailasella. Kylvötiheyden lisääminen alensi sadon raakavalkuaispitoisuutta erittäin vähän verrattuna van BURGIn (1962) ja ALBERDAN (1965) tutkimuksiin.

4.5. Viljelytekniikan suhde nurmen kestävyteen

Suurilla N-määrillä typen haitalliset vaikutukset alkavat tuntua sekä talvehtimisessä että satojen kehitymisessä (HUOKUNA ja HIIVOLA 1974). Tuloksista ilmenee (taulukko 15, s. 317), että kylvövuoden N-määrä 100 kg ha⁻¹ toisessa niitossa vahingoitti talvehtivia kasveja. Toisena talvena N-lannoituksella ei voitu havaita merkittävää negatiivista vaikutusta missään niittosysteemissä. Jälkisadoista on kuitenkin nähtävissä (kuva 19, s. 321), että 2-niittosysteemissä niittoa kohti tullut kertalannoitus 130 kg N ha⁻¹ on ollut liikaa nurminadan säilymiselle. Niittotiheyden kasvaessa N-määrä niittoa kohti aleni ja nurmen säilyvyys parani. Tulokset nurminadalla tukevat HUOKUNAN (1971 a) ja HAKKOLAN (1978) havaintoja. Edellisestä poikkeaviin tuloksiin (taulukko 24, s. 269) sekanurmella talvehtimiskaudella 1974–75 saattoi vaikuttaa erittäin voimakas sadontuottoikyky kaikilla niittotiheyksillä, mikä suosi vegetatiivista kasvua vararavintojen kustannuksella. Sekanurmen jälkivaikutustulokset 1976 (kuva 15, s. 270) osoittavat, että epäedulliset kasvuolot tasaavat viljelyteknillisiä jälkivaikutuksia, mutta samalla alentavat kasvuston yleistä kasvukuntoa.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- AHLGREN, H. L. 1938. Effect of fertilization, cutting treatments and irrigation on the yield of forage and chemical composition of the rhizomes of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) J. Amer. Soc. Agron. 30: 683–691.
- ALBERDA, Th. 1965. The influence of temperature, light intensity and nitrate concentration on dry matter production and chemical composition of *Lolium perenne* L. Neth. J. Agric. Sci. 13: 335–360.
- ANTILA, S. 1975. Valkuaispitoisempaa nurmirehua. Käytännön Maamies 1975, 9: 14–15.
- BAUMER, K. 1964. Konkurrenz in Pflanzenständen als Problem der Pflanzenbauforschung. Forschung und Beratung B 10: 99–123.
- BLACKMAN, G. E. 1968. The application of the concepts of growth analysis to the assesment of productivity. Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. p. 243–259. Ed. ECKARDT, F. E. Copenhagen Symp., UNESCO, Paris.
- BLACKMAN, V. H. 1919. The compound interest law and plant growth. Ann. Bot. 33: 353–360. (ref. KVET et al. 1971).
- BLEASDALE, J. K. A. 1960. Studies in plant competition. The Biology of Weeds. p. 133–142. Oxford.
- BRIGGS, G. E., KIDD, F. & WEST, C. 1920. A quantitative analysis of plant growth I. Ann. appl. Biol. 7: 103–123.
- BROUGHAMN, R. W. 1958. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. Austr. J. Agric. Res. 9: 39–52.
- BROWN, R. H. & BLASER, R. E. 1968. Leaf area index in pasture growth. Herb. Abstr. 38: 1–9.

- BRUMMER, V. 1961. Sokerijuurikkaan hehtaarisatojen ja säätekijöiden välisestä yhteydestä Suomessa. Summary: On the relations between sugar beet yields and certain climatic factors in Finland. Acta Agr. Fenn. 98: 1–180.
- BURG, P. F. J. van 1962. Interne stikstofbalans, productive van droge stof en veroudering bij gras. Versl. Landbouwk. Onderz. 68: 1–131.
- CAUSTON, D. R. 1977. A biologist's mathematics. 326 p. London.
- CHRISTIE, B. R. & MOWAT, D. N. 1968. Variability of *in vitro* digestibility among clones of bromegrass and orchardgrass. Can. J. Plant Sci. 48: 67–73.
- COOK, S. 1965. Population regulation of *Escholzia californica* by competition and edaphic conditions J. Ecol. 53: 759–769.
- DEINUM, B. 1966. Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. Proc. 10th Int. Grassl. Congr. Helsinki. p. 415–418.
- DONALD, C. M. 1951. Competition among pasture plants. I. Intraspecific competition among annual pasture plants. Austr. J. Agric. Res. 2: 355–376.
- 1956. Competition among pasture plants. Proc. 7th Int. Grassl. Congr. Palmerston N. Z. p. 80–91.
- 1963. Competition among crop and pasture plants. Adv. Agron. 15: 1–118.
- & BLACK, J. N. 1958. The significance of leaf area in pasture growth. Herb. Abstr. 28: 1–6.
- EDEY, S. N. 1977. Growing degree days and crop production in Canada, Dept. Agric. Can. 1635: 14 p.
- ELONEN, P. 1974. Sadetus satovaihteluiden tasoittajana. Käytännön Maamies 3: 16–20.
- EVANS, L. T. 1964. Reproduction. Grasses and grasslands. p. 126–153. Ed. BARNARD. C. London.
- FRANK, O. 1952. Kvävegödslingens inflytande på vallskördens storlek och råproteinhalt. Stat. Jordbr.förs. Särtr. och Förs. Medd. 60: 1–8.
- GIÖBEL, G. & STEEN, E. 1965. Inverkan av stigande mängder kalksalpeter på betens kemiska sammansättning. Lantbr.högsk. Medd. A. 29: 1–23.
- GREGORY, F. 1921. Studies in the energy relations of plants I. The increase in area of leaves and leaf surface of *Cucumis sativum*. Ann. Botany (London) 35: 93–123.
- CUTHRIE, H. A. 1971. Introductory nutrition. 511 p. 2 nd. Ed. St. Louis.
- HAKKOLA, H. 1978. Nurmikasvikokeiden tuloksia. MTTK. Pohjois-Pohjanmaan koeasema. Tiedote No. 5: 1–28.
- HALLGREN, G. 1947. Studies on the influence of precipitation on crop yields in Sweden with special reference to field irrigation. Ann. R. Agric. Coll. Swed. 14: 173–289.
- HARPER, J. L. & GAIJIC, D. 1961. Experimental studies of the mortality and plasticity of a weed. Weed Res. 1: 91–104.
- HIIVOLA, S.-L. 1965. Heinäkasvien jälkikasvu niitonurmossa. Maatal. ja Koetoin. 19: 87–93.
- , HUOKUNA, E. & RINNE, S.-L. 1974. The effect of heavy nitrogen fertilization on the quantity and quality of yields of meadow fescue and cocksfoot. Ann. Agric. Fenn. 13, 3: 149–160.
- HOLLIDAY, R. 1960 a. Plant population and crop yield. Field Crop Abstr. 13: 159–167, 247–254.
- 1960 b. Plant population and crop yield. Nature 186: 22–24.
- 1966. Solar energy consumption in relation to crop yield. Agric. Progr. 41: 24–34.
- HOLMES, W. & MAC LUSKY, D. S. 1955. The intensive production of herbage for crop drying. 6. A study of the effect of intensive nitrogen fertilizer treatment on species and strains of grass, grown alone and with white clover. J. Agric. Sci. 46: 267–286.
- HOOLI, J. 1971. Säätekijöiden vaikutuksesta viljelykasvien satoihin. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Tiet.julk. 35: 1–243.
- HUOKUNA, E. 1960. Grazing on herbage at different grazing stages, its effect on a cocksfoot dominant ley and on milk production. Valt. Maatal.koetoin. Julk. 177: 1–44.
- 1964. The effect of frequency and height of cutting on cocksfoot swards. Ann. Agric. Fenn. 3: 1–83.
- 1971 a. Runsaan typpilannoituksen saaneiden nurmien talvehtiminen. Karjatalous 47: 334–335.
- 1971 b. Valkuaispitoisen AIV-rehun tuottaminen heinävaltaisilla nurmilla. Karjatalous 47: 92–93.

- 1973. Valkuaisen tuotanto nurmilla. I. Viljelytutkimukset. Koetoin. ja Käyt. 30: 12.
- & HIIVOLA, S.-L. 1974. The effect of heavy nitrogen fertilization on sward density and winter survival of grasses. *Ann. Agric. Fenn.* 13: 88—95.
- HUSTICH, I. 1947. On variations in climate, in crop of cereals and in growth of pine in Northern Finland 1890—1939. *Fennia* 70. 2: 1—24.
- 1950. Yield of cereals in Finland and the recent climatic fluctuation. *Fennia* 73, 3: 1—32.
- 1952. Agricultural production in Finland and the recent climatic fluctuation. *Fennia* 75: 97—105.
- JAMALAINEN, E. A. 1978. Peltokasvien talvehtiminen Suomessa. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 50: 468—519.
- JOHANSSON, O. V. 1912. Über Wasserstands- und Klimaschwankungen in Nord-Europa nach Wallén u.a. *Meteorol. Zschr.* 29: 261—262.
- 1924. Vereinfachungen der Korrelationsberechnungen nebst einigen Anwendungen. *Meteorol. Zschr.* 41: 358—361.
- JONES, M. 1936. Competition between species under pasture conditions. *Agric. Progress* 12: 62—65.
- JONES, D. I. H. & HAYWARD, M. W. 1973. A cellulase digestion technique for predicting the dry matter digestibility of grasses. *J. Sci. Fd. Agric.* 24: 1419—1426.
- JÄNTTI, A. 1953. Koiranheinä ja nurminata lyhytikäisten laidun- ja säilörehunurmien valtakasveina. *Acta Agr. Fenn.* 81: 1—64.
- 1968. Runsaan typpilannoituksen hyväksikäyttö laidun-, säilörehunurmilla. *Karjalatous* 44: 82—85.
- & HEINONEN, R. 1957. Effect of defoliation and soil moisture on grassland re-growth. *J. Brit. Grassl. Soc.* 12, 1: 56—61.
- & KÖYLIJÄRVI, J. 1964. Laidunnurmien typpilannoituskokeiden tuloksia. Viikin ja Malminkartanon kokeet 1950—56. *Ann. Agric. Fenn.* 3: 165—214.
- JÄRVI, A. 1977. Siemenmäärän vaikutus rehukattaran satoon. *Koetoin. ja Käyt.* 19. 4. 1977: 15.
- JÄÄSKELÄINEN, O. 1929. Viljelyslaidun 360 p. Porvoo.
- KELLY, A. F. 1958. A comparison between two methods of measuring seasonal growth of two strains of *Dactylis glomerata* when grown as spaced plants and swards. *J. Brit. Grassl. Soc.* 13: 99—105.
- KERÄNEN, J. 1925. On the dependence of the harvest upon the temperature in the foregoing winter and May. *Valt. Meteorol. Keskusl. Toim.* 15:8 p. Helsinki.
- 1931. Vuodentulon riippuvaisuudesta, kasvukauden lämpö- ja sadeoloista Suomen eri lääneissä. I. Korrelaatiotekijät. Referat: Über die abhängigkeit der Ernteerträge von den Temperaturen und Regenmengen während der Vegetationszeit in Finland. I. Korrelationsfaktoren. *Acta Agr. Fenn.* 23: 1—32.
- KIISKINEN, A. 1957. Sadon riippuvuus väkilannoituksen ja lämpöolojen vaihteluista Suomessa. Summary: The dependency of the yield on changes of the volume of fertilization and summer temperature in Finland. *Maatal.tiet. Aikak.* 29: 211—217.
- KIRA, T., OGAWA, H. & SAKAZAKI, N. 1953. Intraspecific competition among higher plants. 1. Competition — yield — density interrelationship in regularly dispersed populations. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D* 4: 1—16.
- OGAWA, H., HOZUMI, K. KOYAMA, H. & YODA, K. 1956. Intraspecific competition among higher plants. 5. Supplementary notes on the C—D effect. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D* 7: 1—14.
- KIVIMÄE, A. 1965. Timotejhöets sammansättning och smältbarhet vid framstridande skördestadier. *Lantbr.högsk. Medd. A.* 37 1—23.
- 1966. Estimation of digestibility and feeding value of timothy. *Proc. 10th Int. Grassl. Congr. Helsinki* p. 389—393.
- KLAPP, E. 1937. Über einige Wachstumsregeln mehrjährigen Pflanzen unter der Nachwirkung verschiedener Nutzungsweise. *Pflanzenbau* 14: 209—224.
- KNIEVEL, D. P., JACQUES, A. V. A. & SMITH, D. 1971. Influence of growth stage and stubble height of herbage yields and persistence of smooth brome grass and timothy. *Agron. J.* 63: 430—434.

- KORHONEN, V. V. 1918. Kevättulvasta ja kesäkauden sateista maanviljelysoloja silmälläpitäen. Maatal.hall.tied. 123: 1–36.
- 1920. Pouta kasvukautena Suomessa. Vipusten juhlaulkaisu G. Melanderin 60-vuotispäiväksi. p. 96–117. Porvoo.
- KRAMER, P. 1959. Transpiration and the water economy of plants. *Plant Physiol.* 2: 607–709.
- KUNELIUS, H. T., MACLEOD, L. B. & CALDER, F. W. 1974. Effects of cutting management on yields digestibility, crude protein and persistence of timothy, brome grass and orchard grass. *Can. J. Plant Sci.* 54: 55–64.
- KVET, J., ONDOK, J. P., NEGAS, J. & JARVIS, P. G. 1971. Methods of growth analysis. *Plant photosynthetic production*. p. 343–391. Ed. SESTAK, Z., CATSKY, J. & JARVIS, P. G. The Netherlands.
- LAINEN, T. 1954. Eri heinäkasvien suhtautumisesta typpilannoitukseen. *Suomen Laiduntalous* 27: 14–24.
- 1958. Koiranheinä savimaiden laidunkasvina. *Maatal. ja Koetoin.* 12: 265–276.
- 1966. Heinäkasvien typpilannoitus. *Maatal. ja Koetoin.* 20: 69–80.
- LAWRENCE, T., WARDER, F. G. & ASHFORD, R. 1971. Effect of stage and height of cutting on the crude protein content and crude protein yields of intermediate wheatgrass, brome grass and reed canarygrass. *Can. J. Plant Sci.* 51: 41–48.
- LEMSTRÖM, S. 1878. Om periodiska förändringar i några meteorologiska fenomen, deras samband med förändringar i solen och sannolika inflytande på årsväxten. *Finsk Tidskr.* 1878. Tom. IV. p. 407–423.
- LINJA-AHO, M. 1952. Nurmikasvilajimme kuivien kesien kokemusten valossa. *Karjalalous* 28: 560–563.
- LUNELUND, H. 1944. Über Klimafactoren und Ernteerträge in Finnland. *Soc. Scient. Fenn. Comm. Phys. Math.* 12, 10: 1–48.
- MARJANEN, H., SOINI, S. & SIPILÄ, J. 1979. Nurmituhoista tuottavaan viljelyyn: Timotei Pohjois-Suomen nurmikasvina. *MTTK, Paikalliskoetoinisto, Tiedote* 11: 1–65.
- MARTTILA, M. & RAATIKAINEN, T. 1967. Niittonurmien sato vuonna 1967. *Koetoin. ja Käyt.* 24: 37, 39.
- MELA, T. 1974. Growth and herbage quality of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) under different weather conditions. *Ann. Agric. Fenn.* 13: 119–124.
- MINSON, D., HARRIS, C. E., RAYMOND, W. F. & MILFORD, R. 1964. The digestibility and voluntary intake of S 22 and H1 ryegrass, S 170 tall fescue, S 48 timothy, S 215 meadow fescue and Germinal cocksfoot. *J. Brit. Grassl. Soc.* 19: 298–305.
- MOWAT, D. N., CHRISTIE, B. R. & WINCH, J. E. 1965. The *in vitro* digestibility of plant parts of orchardgrass clones with advancing stages of maturity. *Can. J. Plant Sci.* 45: 503–507.
- MUKULA, J., RAATIKAINEN, M. & MARTTILA, M. 1967. Heinäsatojemme kasvilajikoostumus v. 1966. *Koetoin. ja Käyt.* 24: 6.
- MÄKELÄ, K. 1979. Pohjoisen nurmiviljelyn tiellä paljon vaikeuksia *Koetoin. ja Käyt.* 30 .1. 1979. 1 s.
- OLOFSSON, S. 1962. Tillväxt och kemisk sammansättning hos några vallgräs under våren och försommaren. *Stat. Jorbr.förs. Medd.* 135: 123 s.
- PAATELA, J. 1953. Peltonurmien perustamistavoista Suomessa. *Suom. Maatal.tiet. Seur. Julk.* 79: 1–81.
- 1958. Varför stiger inte hektarskördarna? *Nord. Jordbr.forskn.* 40: 95–104.
- & SUOMELA, H. 1960. Kevätviljojen viljelyvarmuudesta. Summary: On the certainty obtaining a crop of spring cereals in Finland. *Maatal. ja Koetoin.* 14: 51–62.
- & SUOMELA, H. 1962. Peltokasvien sadoista, niiden määrään vaikuttavista tekijöistä sekä odotettavissa olevasta kehityksestä. 39 p. Helsinki.
- PESSI, Y. 1958 a. Hallojen esiintymisestä ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomessa. Summary: On the occurrence of night frost in Finland. *Acta Agr. Fenn.* 93, 3: 1–43.
- 1958 b. On the influence of bog draining upon thermal conditions in the soil and in the air near the ground. *Acta Agric. Scand.* 8: 359–374.
- 1958 c. On the significance of soil temperature in plant cultivation. *Valt. Maatal. koetoin. Julk.* 167: 1–24.
- PHILLIPSON, J. 1964. A miniature bomb calorimeter for small biological samples. *Oikos* 15: 1 Copenhagen.

- POHJAKALLIO, O. 1943. Über die Abhängigkeit der Resistenz gegen die Trockenperiode und Reifesicherheit von Entwicklungsrhythmus bei Hafer, Gerste und Sommerweizen. *Maatal.tiet. Aikak.* 15: 105–125.
- 1948. Nurmikasvilajien, -kantojen ja jalosteiden viljelysarvo Suomessa suoritettujen tutkimusten valossa. *Suomen Laiduntalous* 21: 5–38.
 - 1951 a. On the effect of the intensity of light and length of day on the energy economy of certain cultivated plants. *Acta Agric. Scand.* 1: 153–175.
 - 1951 b. Über den Einfluss der Umweltfaktoren auf die Dauer der Zeit von der Aussaat bis zum Ähren-(Rispen)-Schieben bei Sommergetreide. *Soc. Scient. Fenn. Comm. Biol.* 11, 6: 1–18.
 - 1952. Ljusintensiteten i norra och södra Finland samt dess inverkan på odlingsväxterna. *Nord. Jordbr.forskn.* 34: 99–112.
 - 1954. On the effect of light conditions on the dry matter yield, dry matter content, and root-top ratio of certain cultivated plants. *Acta Agric. Scand.* 4: 289–301.
 - 1957. Light, climate and crop growth in Finland. *Field crop abstr.* 10: 77–82.
 - & ANTTILA, S. 1955. On the effect of removal of shoots on the drought resistance of red clover and timothy. *Acta Agric. Scand.* 5: 239–244.
- POHJANHEIMO, O. 1959. Lämpö ja sadeolojen vaikutuksesta kevätiljoihin Jokioissa 1930–1954. Referat: Einfluss der Temperatur und der Niederschlagshöhe auf die Entwicklung der Sommergetreide in Jokioinen in der Jahren 1930–54. *Maatal. ja Koetoim.* 13: 87–97.
- POHJONEN, V. & HARI, P. 1973. A dynamic model of crop growth rate of Italian ryegrass after cutting. *Acta Agr. Scand.* 23: 121–126.
- POIJÄRVI, I. 1931. Korjuuajan vaikutus heinäsadon määrään ja laatuun. *Valt. Maatal.koetoim.* Julk. 35: 1–93.
- POUTIAINEN, E. & RINNE, K. 1971. Korjuuasteen vaikutus säilörehun ravintoarvoon. *Kehittyvä Maatalous* 3: 15–28.
- PRITCHARD, G., FOLKINS, L. & PIGDEN, W. 1963. The *in vitro* digestibility of whole grasses and their parts at progressive stage of maturity. *Can. J. Plant Sci.* 43: 79–87.
- PULLI, S. 1973. Yields, root development, carbohydrate reserves and *in vitro* dry matter disappearance of spring seeded alfalfa, treated with herbicides and harvested in the year of seeding. Thesis MSU. 100 p.
- 1976. Cellulase digestion technique compared with the *in vitro* digestibility of forages. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 48: 187–194.
 - 1980. Nurmien viljelyvarmuus. Maataloustutkimuksen päivät 4.–5. 3. 1980. Esitelmämoniste I 1–6.
- RABINOWITCH, E. 1945. Photosynthesis and related processes. 599 p. Vol. 1 Interscience Pub. Inc. New York.
- RAININKO, K. 1968. The effects of nitrogen fertilization, irrigation and number of harvestings upon leys established with various seed mixtures. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 112: 1–136.
- RAPPE, G. 1948. Några för betestillväxten karakteristiska grunddrag. *Sv. Vall- och mosskulturför. Medd.* 14: 585–788.
- RAYMOND, W. F. 1969. The nutritive value of forage crops. *Adv. Agron.* 21: 1–108.
- RICHARDS, F. J. 1969. The quantitative analysis of growth. *Plant Physiol V A:* 3–76.
- RINNE, K. 1971. Typpilannoituksen vaikutus koiranheinä- ja nurminatanurmeen. *Kehittyvä Maatalous* 5: 12–21.
- 1976. Laidunruohon kemiallinen koostumus eri typpilannoitustasoilla. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 48: 305–316.
 - 1977. Korjuuasteen vaikutus nurmen satoon ja sadon laatuun. *Koetoim. ja Käyt.* 12. 7. 1977: 26.
- SALMINEN, M. 1930. Kasvuajan, sademäärän ja keskilämpötilan vaikutus lämpöasteiden summaan ja kasvuajan pituuteen Tammistossa 1925–29. Hankkijan kasvinjalostuslaitos. Siemenjulkaisu 1930: 87–92. Helsinki.
- SALO, M.-L., NYKÄNEN, A & SORMUNEN, R. 1975. Nurmikasvien koostumus, pepsiini-HCL-liukoisuus ja *in vitro*-sulavuus ei kasvuasteilla. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 47: 480–490.

- SALONEN, M. 1959. Puna-apilan suhtautumisesta typpilannoitukseen. Maatal. ja Koetoim. 12: 204–207.
- SAU, A & VIIRALT, R. 1974. Increase of yield and improvement in quality of grassland herbage at grazing and frequent cutting in the Estonian SSR. Proc. 12th Int. Grassl. Congr. Moscow. Utilization 2: 606–611.
- SCARISBRICK, D. H. & IVINS, J. D. 1970. The effect of sowing density and cutting on competition between two pasture species growing in model populations. J. Brit. Grassl. Soc. 25: 172–179.
- SHEARD, R. W. & WINCH, I. E. 1966. The use of light interception, grass morphology and time as criteria for the harvesting of timothy, smooth brome grass and cocksfoot. J. Brit. Grassl. Soc. 21: 231–237.
- SINISALO, J. 1937. Die für das Reifen gewisser Sommerweizen- und Gerstensorten erforderlichen Wärmesummen und Anzahlen von Wachstumstagen. Maatal.tiet. Aikak. 9: 194–212.
- SPILLMAN, W. 1923. Application for the law of diminishing returns of some fertilizer and feed data. J. Farm Ec. 5: 36–52.
- STEEN, E. 1972. Stigande mängder kväve till fem vallgräsarter skördade tre gånger per säsong. Lantbr.högsk. Medd. A. 176: 1–43.
- STIGELL, R. V. 1920. Kesäkuun keskilämpötilojen vaikutuksesta Suomen kokonaissatoihin vuonna 1886–1905. Vipusen juhlaulkaisu G. Melanderin 60-vuotispäiväksi. p. 153–156. Porvoo.
- STÄHLIN, A. 1959. Von der Ansaatmischung zum Dauerweidebestand. Z. Acker- u. Pfl. bau 108: 272–300.
- SULLIVAN, J. T., PHILLIPS, T. G., LOUGHLIN, M. E. & SPARAGUE, V. G. 1956. Chemical composition of some forage grasses. 2. Successive cuttings during the growing season. Agron. J. 48: 11–14.
- TEITTINEN, P. 1959. Apilanurmen niittoaikakokeitten tuloksia. Maatal. ja Koetoim. 13: 208–217.
- TERRY, R. A. & TILLEY, J. M. A. 1964. The digestibility of the leaves and stems of perennial ryegrass, cocksfoot, timothy, tall fescue, lucerne and sainfoin as measured by an *in vitro* procedure. J. Brit. Grassl. Soc. 19: 363–372.
- TÄHTINEN, H. 1962. Säätekijät ja perunasato. Lisensiaattityö, Helsingin yliopisto 105 p. Helsinki.
- VALLE, O. & VIRTANEN, A. I. 1932. Tutkimuksia niittoajan vaikutuksesta heinäsadon suuruuteen ja laatuun. Valion Laborat. Julk. 1932: 1–24.
- VALMARI, A. 1979. Nurmituhoista tuottavaan viljelyyn: Pohjois-Suomen nurmien tuoton varmistaminen. MTTK, Lapin koasema, Tiedote 4: 66–88.
- VARIS, E. 1970. Variation in the quality of table potato and the factors influencing it in Finland. Acta Agr. Fenn. 118, 3: 1–99.
- WARING, R. & MAJOR, J. 1964. Some vegetation of the California Coastal redwood region in relation to gradients of moisture, nutrients, light and temperature. Ecol. Monogr. 34: 167–215.
- WARREN WILSON, J. 1960. Influence of spatial arrangement of foliage area on light interception and pasture growth. Proc. 8th Int. Grassl. Congr. Reading. p. 275–279.
- WATANABE, K. 1975. (Studies on the regrowth of cocksfoot at various seasons, cutting regimes and fertilizer rates). Bull. Tohoku Nat. Agric. Exp. Sta, 49: 1–59. (Ref. Herb. Abstr. 46: 5185).
- WATSON, D. J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops 1. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. Ann. Bot. N.S. 11: 41–76.
- 1952. The physiological basis of variation in yield. Adv. Agron. 4: 101–145.
- WILLIAMS, R. 1964. The quantitative description of growth. Grasses and Grasslands p. 89–101. Ed. BARNARD, C. London.
- WILSON, J. W. 1972. Control of crop processes. Crop processes in controlled environments. p. 7–30. Ed. REES, A. R. et al. London.
- WIT, C. T. de 1960. On competition. Versl. Landbouwk. Onderz, 66: 1–82.
- & BROUWER, R. 1968. Über dynamisches Model des vegetativen Wachstums von Pflanzenständen. Angew. Bot. 42: 1–12.

- & BROUVER, R. & PENNING DE VRIES, F. W. T. 1971. A dynamic model of plant and crop growth. Potential crop production. p. 117–142. Ed. WAREING, P. F. & COOPER, J. P., London.
- YLLÖ, L. 1963. Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf Knollenertrag und Stärkegehalt bei Kartoffeln. *Ann. Agric. Fenn.* 2: 59–72.
- 1964. Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf den Kartoffelertrag von Sortenversuchen in Finnland. *Ann. Agric. Fenn.* 3: 256–264.

SUMMARY

Growth factors and management technique used in relation to the developmental rhythm and yield formation pattern of a forage stand

SEPPO PULLI

Department of Plant Husbandry, University of Helsinki

The relationships of the growth rhythm and yield formation pattern of a clover-grass stand and a pure grass stand to the growth factors and management techniques were studied at Viikki in 1973–78. The objectives concerning management were the first cutting date and cutting frequency of a clover-grass stand and the number of cuttings, N-fertilization and seeding rate of a pure fescue stand.

The most important growth factors in spring dry matter production were temperature sum ($\Sigma > 0^\circ \text{C}$), solar radiation sum and N-fertilization. In summer growth the most important variables in the regression model were factors relating to precipitation. In the fall DM growth the most determining factors were the growth activity in the previous cut, N-fertilization and the amount of light.

The spring growth was characterized by the distinct changes among all components of the yield studied. The shape of all spring growth models was strongly sigmoidal. As the growing season progressed DM yield or quality characteristics of the yield as a function of time or temperature sum in degree days approached the quadratic or linear relationships.

The energy value of a clover-grass stand varied between the range of 4.274–4.633 kcal gr^{-1} . The photosynthetic efficiency of the stand among different cutting systems in 1974–75 was between 0.31–1.12 % determined from the total radiation per unit area. Deficiency of water was the most important factor causing variation in assimilation efficiency.

Cutting frequency was the most important factor influencing the yield distribution of the season, the relationships among plant species and the formation of the total yields. Less important management factor was the first cutting date. N fertilization increased DM yields significantly in all cutting systems. The increase in use of nitrogen from 130 to 260 kg N ha^{-1} raised the protein content of the yield by 4.2 % units and the protein yield by 485 kg ha^{-1} . The maximum DM yields in the seeding year and during the following three production years were obtained with seeding rates of 60, 30, 15 and 7.5 kg ha^{-1} respectively. The quality of the yield was very little influenced by growing density.