

Oikea lajike oikealle paikalle

Jukka Öfversten¹⁾, Lauri Jauhiainen²⁾, Yrjö Salo³⁾

¹⁾MTT, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen, jukka.ofversten@mtt.fi

²⁾MTT, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen, lauri.jauhiainen@mtt.fi

³⁾MTT, Alueellinen yksikkö, 23120 Mietoinen, yrjo.salo@mtt.fi

Johdanto

Siemenkaupasta annetun lain mukaisesti Suomessa voidaan markkinoida vain kasvilajikeluettelon merkittyjen lajikkeiden kylvösiementä. Luetteloon hyväksyminen perustuu lajikkeen viljelyarvon määritteleviin virallisiin tutkimuksiin ja selvityksiin, joita MTT tekee Maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta. Tähän tehtävää varten MTT suorittaa kentäkokeita, joiden avulla kerätään lajikkeiden viljelyarvoa kuvaavaa tutkimusmateriaalia. Pääosa kokeista tehdään MTT:n omilla koepaikoilla mutta MTT teettää niitä myös MTT:n ulkopuolella. MTT on ylläpitänyt lajiketestaukseen liittyvää koetoimintaa jo yli 30 vuotta. Tätä nykyä kokeita tehdään vuosittain noin 20 koepaikalla. Vuosittain tehtävien kokeiden määrä on runsas 100.

Ajallisesti ja maantieteellisesti hajautettu koetoiminta antaa hyvän lähtökohdan poistaa tai tasoittaa erilaisten kasvuolosuhteiden vaikutuksen satotuloksiin. Usein juuri tämä onkin kokeiden analysoinnin tarkoituksena ja lopputuloksena. Tosiasiassa kasvinjalostajat ja käytännön viljelijät tietävät kuitenkin vallan hyvin, että lajikkeiden kyky sopeutua erilaisiin kasvuolosuhteisiin vaihtelee. Jossain kasvuympäristössä hyvin menestyvä lajike voi jossain toisessa menestyäkin selkeästi muita huonommin. Koska jokaisen yksittäisen viljelijän tavoitteena on tunnistaa ne lajikkeet, jotka menestyvät hyvin juuri hänen omilla pelloillaan, keskimääräiset analyysitulokset eivät siksi aina anna riittävää pohjaa päätöksenteolle. Näin ollen myös lajikkeen kyky sopeutua erilaisiin kasvuolosuhteisiin on tärkeä lajikkeen viljelyarvoa kuvaava mittari. Tätä ominaisuutta kutsutaan seuraavassa lajikkeen sopeutumiskyvyksi tai herkkyudeksi. Herkkyyden mittaaminen ja herkkyyden huomioon ottava satotuloksen ennakointi on kuitenkin osoittautunut vaativaksi tehtäväksi. Vaikeuksien perimmäisenä syynä on todellisuudessa usein hyvinkin vaihteleviin ja monessa suhteessa erilaisiin kasvuympäristöihin liittyvän kasvupotentiaalin kuvaaminen mitattavissa olevilla ja ennustustarkoituksiin soveltuvilla tunnusluvuilla.

Lajikekokeista saatuja tuloksia julkaistaan vuosittain MTT omissa julkaisusarjoissa (Kangas et al., 2001). Tavallisena analysointitapana on valita jokin yleisesti viljelty lajike verrokiksi (mittarilajikkeeksi) ja verrata muiden lajikkeiden viljelyarvoa tähän mittarilajikkeeseen. Vertailuissa käytetään yleensä kahdeksan viimeisimmän vuoden koetuloksia. Tulokset julkaistaan ensisijaisesti kasveittain jaoteltuina, kaikki koepaikat kattavina yhteenvetotuloksina. Tällaiset tulokset antavat hyvän ja luotettavan kuvan lajikkeiden keskimääräisestä viljelyarvosta Suomessa tavanomaisissa keskimääräisissä viljelyolosuhteissa. Koko maata kattavien yhteenvetotulosten lisäksi vuosittain julkaistavat tulokset sisältävät usein myös viljelyvyöhykkeittäin ja maalajeittain jaoteltua lajikkeiden parittaista vertailutietoa. Tämä antaa lukijalle mahdollisuuden verrata lajikkeiden sopeutumiskykyä erilaisiin kasvuolosuhteisiin. Kaikkien parittaisten vertailujen heikkoutena on kuitenkin se, että kussakin vertailussa käytetään vain osaa kaikesta käytettävissä olevasta koeaineistosta. Ja jakamalla aineistoa osiin (esim. viljelyvyöhykkeittäin) kussakin vertailussa käytettävä aineisto aina vain vähenee. Siksi parittaisten vertailujen kautta tehtävien johtopäätösten tilastollinen merkitsevyys on usein huono. Parittaisten vertailujen hyväksikäyttö viljelyarvojen vertailuun on hankalaa usein myös siksi, että se johtaa suureen määrään usein keskenään ristiriitaisia taulukoita. Parittaiset vertailut eivät myöskään anna mitään suoraa tapaa ennustaa yksittäisen lajikkeen suoriutumista annetuissa viljelyolosuhteissa.

Lajikekokeita analysoidaan usein myös lineaarisia sekamalleja käyttämällä (esim. Öfversten ja Nikander, 1996). Lajikkeiden sopeutumiskykyä voidaan näiden mallien avulla määrittää siten, että mitataan joitakin selittäviä ulkoisia tekijöitä (esim. maan viljavuusarvoja ja säätekijöitä) ja esitetään mallin keskiarvo näiden lineaarisena funktiona. Tälläkin lähestymistavalla on heikkoutensa. Suurimpana lienee se, että kaikki yhteen kokeeseen sijoitetut lajikkeet ovat aina samojen ja yhteisten ulkoisten vaikutusten alaisina. Yhden kokeen sisällä ei siten ole mitään mahdollisuutta erottaa erilaisten ulkoisten tekijöiden vaikutusta toisistaan. Yhden kokeen sisällä on myös mahdotonta erottaa mitattavien ulkoisten tekijöiden vaikutusta sekamalleissa aina mukana olevista koepaikkaan ja kokeeseen liittyvistä satunnaistekijöistä. Pitkissä koesarjoissa mitattavien ulkoisten tekijöiden vaikutus voidaan erikseen estimoida. Estimoinnin tarkkuus riippuu kuitenkin aina kokeiden lukumäärästä. Ja valitettavan usein kokeiden määrä on liian pieni antamaan selkeää kuvaa mitattavissa olevien ulkoisten tekijöiden

vaikutuksesta. Toinen sekamalleihin liittyvä heikkous on niiden huono käytettävyys yksittäisen lajikkeen suoriutumisen ennustamiseen annetulla kasvupaikalla. Näin siksi, että ennustamisessa voidaan käyttää vain selittäviä muuttujia, joiden arvo kylvöhetkellä on tunnettu tai ainakin likimääräisesti arvioitavissa. Tavalliset säätä kuvaavat tunnusluvut eivät tämmöisiä ole, koska tulevan kasvukauden säätä annetulla kasvupaikalla ei voi luotettavasti ennustaa. Kemiallisista viljavuusmäärittäjäistä ei ole apua, koska virallisissa lajikekokeissa kaikki kokeet tehdään vakioituilla lannoitustasoilla eikä lannoituksen vaikutusta lajikkeiden suoriutumiseen tästä johtuen voida arvioida.

Tilastomatemaattikkojen viime vuosina kehittämät uudet biadditiiviset mallit antavat kuitenkin mahdollisuuden käyttää ennustemallien selittävinä tekijöinä myös ei-mitattuja latenteja muuttujia. Lajikevertailuissa hyödylliseksi on osoittautunut tapa valita kasvupaikalta odotettavissa oleva keskimääräinen sato kasvu ympäristön kasvupotentiaalia kuvaavaksi latentiksi muuttujaksi ja esittää kunkin yksittäisen lajikkeen antama sato tämän kasvupaikkaan liittyvän odotusarvon funktiona (Öfversten, 1988). Tällä tavalla yksittäisen lajikkeen sato annetussa kasvu ympäristöstä voidaan ennustaa tältä paikalta aikaisemmin saadun keskimääräisen sadon perusteella. Tässä artikkelissa esitetyn mallin käytettävyttä lisää se, että siihen sisältyvät parametrit voidaan estimoida tavanomaisia tilastollisia ohjelmistopaketteja käyttämällä.

Aineisto ja menetelmät

Mallien ja menetelmien testauksessa käytimme viralliseen lajikekoetointiin liittyvää kevätvehnäaineiston osaa, joka sisälsi vuosina 1989-2000 kymmenellä koepaikalla tehdystä 84 tyypillisestä lajikekokeesta saadut koetulokset. Kussakin yksittäisessä kokeessa oli neljä kerrannetta. Lajikkeen viljelyarvoa kuvaavana vastemuuttujana käytimme kerranteiden keskiarvona laskettua lajikkeen koekohtaisen kuiva-ainesadon määrää (t/ha). Taulukokko 1 näyttää aineistoon kuuluvat koepaikat, niiden maantieteellisen sijainnin, koepaikoilla tehtyjen kokeiden lukumäärät ja koivuodet. Taulukko 2 näyttää tarkastelussa mukana olevien lajikkeiden nimet, lajikeoikeuksien haltijat, havaintojen lukumäärät, koivuodet, keskimääräiset kasvuajat ja keskimääräiset korrenpituudet.

Ehdottamamme tapa määrittellä ja mitata lajikkeiden herkkyyttä on käyttää biadditiivista mallia $y_{ij} = \alpha_i + \beta_i(\theta_j - \mu) + \varepsilon_{ij}$, missä y_{ij} on lajikkeen i sato kokeessa j , α_i ja β_i ovat kiinteitä lajikeparametrejä, μ on koko viljelyaluetta koskeva sadon odotusarvo, $\theta_j = E(y_{ij} | j)$ on sadon odotusarvo koepaikalla j , ja ε_{ij} on satunnainen virhetermi. Tavanomaisesta regressiomallista tämän erottaa se, että tässä selittävänä tekijänä oleva θ_j on latentti satunnaismuuttuja, josta ei ole käytettävissä yhtään havaittua arvoa. Olettamalla malliin sisältyvät satunnaistekijät normaalisiksi ja toisistaan riippumattomiksi tähän malliin liittyvät parametrit α_i ja β_i ja näiden varianssit voidaan kuitenkin estimoida viime vuosina kehitettyjä uusia tilastotieteen menetelmiä käyttämällä. Estimointi voidaan tehdä esim. SAS/MIXED -proseduuria käyttämällä siten, että saadut estimaatit täyttävät ehdon $\bar{\beta} = 1$ (Piepho, 1997) ja että ne ovat toisistaan riippumattomia (Rao, 1973, p. 329). Estimaattien riippumattomuus antaa mahdollisuuden estimoida myös mallin avulla tehtäviin ennusteisiin liittyvä ennustevirhe.

Mallin käyttökelpoisuus ennustustarkoituksiin perustuu siihen, että koepaikan j keskimääräinen odotettavissa oleva sato θ_j voidaan aina etukäteen arvioida koepaikalta aikaisemmin saatujen satojen perusteella. Lajikeparametreillä α_i ja β_i on myös selkeä biologinen tulkinta. Ehdosta $\bar{\beta} = 1$ seuraa, että lajike johon liittyvä parametri β_i on ykköstä suurempi on keskimääräistä herkempi kasvuolosuhteille, ts., olosuhteissa, joissa lajikkeet yleensä menestyvät hyvin tämä lajike menestyy suhteellisesti vieläkin paremmin. Jos taas β_i on ykköstä pienempi, vastaava lajike on keskimääräistä vähemmän herkkä kasvuolosuhteille. Tulkinnan kannalta on hyvä huomata myös se, että $\alpha_i = \mu_i$, missä μ_i on lajikkeen i keskiarvo. Tämä nähdään ottamalla satunnaismuuttujien θ_j ja ε_{ij} jakaumien suhteen odotusarvo ehdotetun mallin molemmista puolista.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Taulukoon 3 on koottu ehdotetun mallin avulla lasketut parametrien μ_i ja β_i estimaatit $\hat{\mu}_i$ ja $\hat{\beta}_i$ sekä näiden keskihajonnat ja varianssit. Koko aineiston keskiarvo μ estimaatiksi $\hat{\mu}$ saatiin 4,507

t/ha. Nämä tulokset antavat mahdollisuuden laskea minkä hyvänsä tarkasteltavana olevan lajikkeen odotettavissa olevan sadon millä hyvänsä odotettavissa olevalla paikallisella keskisadolla. Tarkemmin sanoen lajikkeen i antaman sadon odotusarvo $\hat{y}_i(t_j)$ keskimääräisellä satotasolla t_j voidaan laskea kaavalla $\hat{y}_i(t_j) = \hat{\mu}_i + \hat{\beta}_i(t_j - \hat{\mu})$. Ja koska estimaatit $\hat{\mu}_i$ ja $\hat{\beta}_i$ ovat toisistaan riippumattomia, sadon ennusteen varianssi voidaan laskea kaavalla $\text{var}[\hat{y}_i(t_j)] = \text{var}(\hat{\mu}_i) + \text{var}(\hat{\beta}_i)(t_j - \hat{\mu})^2$.

Ennustamisen demonstroimiseksi on Taulukoon 4 laskettu tässä artikkelissa tarkastellun kymmenen lajikkeen odotettavissa olevat satoennusteet keskimääräisillä satotasoilla 2, 4 ja 6 t/ha. Taulukosta näkyy, että lajikkeiden keskinäinen paremmuus odotettavissa olevan satotuloksen mukaan järjestettynä vaihtelee odotettavissa olevan keskimääräisen satotuloksen mukaisesti. Esimerkiksi, hyvin huonoissa kasvuolosuhteissa (keskimääräisellä satotasolla 2 t/ha) lyhytkortisen Bastian-lajikkeen odotusarvoinen sato on 109 kg/ha Satu-lajiketta parempi, mutta hyvissä olosuhteissa (keskimääräisellä satotasolla 6 t/ha) pitempikortisen Satu-lajikkeen odotusarvoinen sato on 307 kg/ha Bastian-lajiketta parempi.

Johtopäätökset

Tässä artikkelissa on tarkasteltu kevätvehnän satotulosten ennustamista. Esitetty menetelmä sopii kuitenkin yhtä hyvin myös muiden peltokasvien satotulosten ennustamiseen. Satotuloksen ennustamisen lisäksi menetelmää voidaan käyttää myös muunlaisten vastemuuttujien, esim. laatuominaisuuksien ennustamiseen. Ennustamisen edellytyksenä on se, että käytettävissä on useita kasvupaikkoja kattava monivuotinen koeaineisto. Virallisen lajikekoetöiminnan tuloksena MTT:n käyttöön on kertynyt tällainen jatkuvasti päivitettävä koeaineisto. Tässä artikkelissa esitetyt tulokset viittaavat siihen, että tätä aineistoa ja uusia tilastollisia menetelmiä käyttämällä MTT:llä on mahdollisuus verraten pienellä lisäkustannuksella tarjota aikaisempaa huomattavasti tarkempi kuva peltokasvilajikkeiden viljelyarvosta.

Taulukko 1. Koepaikat, niiden maantieteellinen sijainti, kokeiden lukumäärät ja koevuodet

Koepaikka	Pohjoista leveyttä	Itäistä pituutta	Kokeiden määrä	Koevuodet
Anjalankoski	60°42'	26°52'	5	1989-1991
Hahkiala	61°09'	24°35'	5	1989-1993
Jokioinen	60°49'	23°30'	12	1990-2000
Kokemäki	61°17'	22°15'	7	1989-1995
Mietoinen	60°38'	21°55'	19	1989-2000
Perniö	60°12'	23°08'	5	1989-1993
Pälkäne	61°20'	24°13'	12	1989-2000
Tuusula	60°25'	25°02'	12	1989-2000
Vihti	60°25'	24°20'	4	1997-2000
Ylistaro	62°57'	22°30'	3	1998-2000

Taulukko 2. Lajikkeet kasvuajan mukaan lajiteltuina

Lajike	Jalostaja	Havaintojen lukumäärä	Koevuodet	Kasvu-aika (päiviä)	Pituus (cm)
Heta	Boreal Kasvinjalostus Oy	55	1989-1997	100	86
Anniina*	Boreal Kasvinjalostus Oy	19	1997-2000	101	78
Manu	Boreal Kasvinjalostus Oy	71	1989-2000	101	89
Bastian	Norsk Kornforedling A/S	63	1989-2000	102	69
Satu	Svalöf Weibull AB	62	1989-1997	102	84
Kruunu*	Boreal Kasvinjalostus Oy	12	1997-2000	103	86
Mahti	Boreal Kasvinjalostus Oy	66	1989-2000	103	84
Reno	Norsk Kornforedling A/S	68	1989-2000	103	87
Tjavle	Svalöf Weibull AB	82	1989-2000	104	74
Vinjett*	Svalöf Weibull AB	27	1996-2000	104	81

* Kasvilajikeluetteloon merkittyjä uusia lajikkeita

Taulukko 3. Lajikeparametrien estimaatit sekä niiden hajonnat ja varianssit

Lajike	$\hat{\beta}_i$	<i>s.e.</i> ($\hat{\beta}_i$)	$\text{var}(\hat{\beta}_i)$	$\hat{\mu}_i$	<i>s.e.</i> ($\hat{\mu}_i$)	$\text{var}(\hat{\mu}_i)$
Heta	0.9168	0.083	0.0067	3.663	0.127	0.0161
Anniina	1.0026	0.120	0.0144	4.777	0.153	0.0234
Manu	0.9075	0.078	0.0061	4.132	0.124	0.0154
Bastian	0.8899	0.078	0.0061	4.264	0.122	0.0149
Satu	0.9941	0.086	0.0072	4.416	0.135	0.0182
Kruunu	1.1820	0.154	0.0237	5.051	0.186	0.0346
Mahti	1.0699	0.090	0.0081	4.802	0.144	0.0207
Reno	0.8658	0.076	0.0058	4.125	0.119	0.0142
Tjalve	1.0126	0.084	0.0071	4.736	0.136	0.0185
Vinjett	1.1588	0.111	0.0123	5.099	0.165	0.0272

Taulukko 4. Lajikkeiden satoennusteet ja keskihajonnat kolmella eri satotasolla

Lajike	Satotaso 2 t/ha		Satotaso 4 t/ha		Satotaso 6 t/ha	
	Estimaatti	SE	Estimaatti	SE	Estimaatti	SE
Heta	1.365	0.243	3.199	0.134	5.033	0.177
Anniina	2.265	0.337	4.270	0.165	6.275	0.235
Manu	1.857	0.232	3.672	0.130	5.487	0.170
Bastian	2.033	0.230	3.813	0.129	5.593	0.169
Satu	1.924	0.254	3.912	0.142	5.900	0.186
Kruunu	2.089	0.428	4.453	0.202	6.817	0.296
Mahti	2.120	0.269	4.260	0.151	6.400	0.198
Reno	1.955	0.225	3.687	0.125	5.418	0.165
Tjalve	2.198	0.251	4.223	0.142	6.248	0.185
Vinjett	2.195	0.323	4.512	0.174	6.830	0.234

Kirjallisuus

- Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L., Mäkelä, L.** 2001. Virallisten lajikekokeiden tulokset 1993-2000. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 94. 262 p.
- Piepho, H.-P.** 1997. Analyzing Genotype-Environment Data by Mixed Models with Multiplicative terms. *Biometrics*, **53**, 761-766.
- Rao, C. R.** 1973. *Linear Statistical Inference and Its Applications* (Wiley, New York, 2nd ed.).
- Öfversten, J.** 1998. Assessing Sensitivity of Agricultural Crop Varieties. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, **3**, 37-47.
- Öfversten, J. Nikander, H.** 1996. Lajikekoesarjojen analysointi. Maatalouden tutkimuskeskus. (MTT). ISSN 1238-9943.