

Breytileikabættir í yrkisprófunum og aðferðir við uppgjör

HÓLMGEIR BJÖRNSSON

Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Keldnaholti, 112 Reykjavík

YFIRLIT

Í yrkisprófunum þarf að draga einfaldar ályktanir af tilraunum sem gefa breytilegar niðurstöður. Sýna þarf meðalárangur hvers yrkis borið saman við önnur, ásamt mati á staðalskekkju mismunarins. Í henni þarf að vera innifalið mat á slembipáttum víxlhrifa yrkjanna við umhverfisþætti. Einnig geta víxlhrifin gefið tilefni til sérstakrar túlkunar, t.d. á þann veg að röðun yrkja sé breytileg eftir aðstæðum. Gerð er grein fyrir eðli helstu breytileikabátta í tilraunaröðum. Sagt er frá mælikvörðum á stöðugleika yrkja, þeir gagnrýndir, og gerður er greinarmunur á aðlögun og stöðugleika. Norðurlöndunum hefur verið skipt í belti með tilliti til prófunar yrkja af vallarfoxgrasi, þannig að innan þeirra sé lítil víxlverkun aðlagðra yrkja við staði. Rætt er um hvernig megi ákveða nauðsynlegan fjölda tilrauna og dreifingu þeirra á staði og ár.

SUMMARY

Sources of variation in variety trials and methods of analysis

Sources of variation in series of variety trials are listed in relation to their role in the analysis of the series and classified into fixed and random effects (SNP, 1986). The genetic by environment interaction provides information to compare varieties for stability (random environment) or adaptation (fixed environment), or identify varieties that are adapted to specific environments. A number of stability measures have been proposed. They were summarized and classified by Lin *et al.* (1986). Some measures are calculated directly on the yield data. It is argued here that only measures that can be derived from the interaction should be considered since it contains all the available information. The perhaps most popular stability measure is the Finlay and Wilkinson (1963) regression on site means, where the site mean is used as site a index. It can be used to identify different kinds of stability, e.g. a variety with its response to the environment parallel to the mean response of all genotypes in the trials, i.e. slope equal to one, or a variety with small variation in response among environments, i.e. slope less than one. The regression approach has inherent limitations in that it is an univariate approach to a multivariate situation with environments as the variables (or varieties if environments are being studied). Although multivariate methods allow a more complete interpretation of the interaction, univariate methods often have a more direct interpretation. A measure that is more general than the regression on site means is the decomposition of the interaction, centered around the experimental mean, into contributions from each variety, called **ecovalence** (Wricke, 1962). The experimental mean, however, is not necessarily a good reference value or site index. Based on a modification with the mean of a few high yielding varieties replacing the site mean, the interaction was for each variety divided into two measures, one due to sites, which are considered fixed or predictable environment, and the other due to years and the three factor interaction of varieties with years and sites which are considered random. These two statistics are interpreted as measures of adaptation and stability respectively (Helgadóttir *et al.*, 1995).

The ordering of varieties should be fairly constant within zones that are appropriate for variety performance testing. Results from Nordic variety trials in timothy were used for investigating their

usefulness for constructing internordic zones for this purpose. Zones were constructed such that for adapted, high yielding varieties the interaction with sites was nearly eliminated. However, the outcome probably depended partly on the selection of varieties actually tested, the overlapping between countries was limited and the test locations were sparse. Available experimental results are considered more useful for testing external hypotheses on zones, such as mapping climatic indices, than for actually constructing them (Björnsson, 1993).

The necessary number of experiments in order to meet expectations on power for finding variety differences is discussed, taking into account random interaction terms and autocorrelated errors in perennial crops (Björnsson, 1996b). The method of residual maximum likelihood (REML) is, using modern programs, easily applicable for the analysis of means from a series of experiments, even for unbalanced data. Results from different experiments are weighed in inverse relation to an error term that is the sum of experimental error plus the interaction with experiments that is confounded with residuals when the analysis is on means. Iteration is required. In perennial crop experiments separate analyses on the different orthogonal combinations of years can be used to circumvent the problem of autocorrelated errors.

Key words: adaptation, experimental series, G×E interaction, growing zones, stability, variety tests.

INNGANGUR

Það er kunnara en frá þurfi að segja að niðurstöður tilrauna eru mjög breytilegar. Eru yrkisprófanir að því leyti engin undantekning. Það er ástæða þess hve þær eru umfangsmiklar víða um lönd. Annars vegar er um að ræða opinberar yrkisprófanir vegna viðurkenningar á yrkjum, hins vegar samanburð á yrkjum við ólíkar aðstæður og mismunandi meðferð til leiðbeiningar (Hólmgeir Björnsson, 1996a). Það á einnig við um ýmis önnur viðfangsefni á sviði jarðræktar að nauðsynlegt er að gera tilraunir við sem ólíkust skilyrði til að sannreyna hvort eða hvernig megi alhæfa niðurstöður. Tilgangurinn er ekki fyrst og fremst að fá staðbundnar niðurstöður til leiðbeiningar, heldur að fá heildarniðurstöður, hvað tilraunum er sameiginlegt, meta hvað frávik eru mikil og algeng, og leita að skýringum á þeim ef kostur er svo að draga megi af tilraunum almennar og hagnýtar ályktanir (Hólmgeir Björnsson, 1980). Meðal dæma um uppgjör af þessu tagi má nefna að fundinn var meðalferill uppskeruauka fyrir nituráburð í sjö langtímatilraunum. Í 29 tilraunum öðrum var uppskeruauki fyrir nitur það breytilegur að verulegu máli skipti, en ekki var gerð tilraun til að skýra hvaða aðstæður yllu mismunandi svörun (Hólmgeir Björnsson, 1975). Seinna var breytileg svörun við nituráburði í langtímatilraunum tengd vetrarhita (Hólmgeir

Björnsson og Áslaug Helgadóttir, 1988). Í uppgjöri á 38 tilraunum með brennistein á 33 stöðum var metið hvar uppskeruaukinn var marktækur og tengt við jarðveg, landsvæði og efnainnihald í grasi (Áslaug Helgadóttir o.fl., 1977). Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson (1987) drógu saman niðurstöður margra tilrauna um áhrif áburðar- og sláttutíma á uppskeru á túni og tengdu mismunandi niðurstöður m.a. veðurfari að vori. Með því að nota niðurstöður úr mörgum tilraunum tókst að finna samhengi milli grassprettu og veðurfars á sprettutímanum (Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson, 1990), auk þess sem hiti hafði áhrif á fall meltanleikans. Eru þá enn ótaldar ýmsar greinar þar sem niðurstöður um efnainnihald og fóðurgildi eru teknar saman úr mörgum tilraunum.

Viðfangsefni þessarar greinar er að gera grein fyrir ýmsum grundvallaratriðum um uppgjör á röðum tilrauna með samanburð á yrkjum. Sagt verður frá sumu af því sem gert hefur verið hér á landi.

BREYTTILEIKAÞÆTTIR Í TILRAUNANÍÐURSTÖÐUM

Í eftirfarandi yfirliti yfir helstu breytileikaþætti í yrkisprófunum er að mestu leyti fylgt skýrslu um samræmdar prófanir á ræktunarhæfni nytjajurta á Norðurlöndum (SNP, 1986).

Lögð er áhersla á að gera greinarmun á bundnum hrifum og bundnum þáttum (fixed effects, fixed factors) annars vegar og slembihrifum og slembiþáttum (random effects, random factors) hins vegar:

1. Breytileiki vegna staðbundinna áhrifa og meðferðarþættir sem eru einangraðir við uppgjör og hafa ekki áhrif á samiburð yrkja.
 - 1.1. Milli tilraunastaða, slembiþáttur ef tilraunastaðir hafa verið valdir af hendingu.
 - 1.2. Milli ára, fyrst og fremst slembihrif. Ýmsar varanlegar breytingar sem ekki eru tilviljanakenndar geta þó orðið (loftslagsbreytingar, breytt ræktunartækni svo sem áburðarmagn, nýir jurtasjúkdómur, nýir jurtasjúkdómar).
 - 1.3. Víxlverkun staða og ára, fyrst og fremst slembihrif.
 - 1.4. Meðferðarþættir í yrkistilraunum, t.d. áburðarmagn, sláttutími eða sjúkdómavarnir.
 - 1.5. Blokkamunur innan tilrauna.
2. Meðalmunur yrkja. Hann stafar af erfða-breytileika og er í eðli sínu slembiþáttur. Vegna hins stranga úrvals getur þó verið eðlilegra að líta á yrkismun sem bundin hrif við endanlegt uppgjör yrkisprófana. Enn fremur skulu dregnar ályktanir um hvert yrki fyrir sig.
3. Víxlverkandi hrif yrkja og umhverfis, þ.e. meðferðarþátta í tilraunum, tilrauna og ára.
 - 3.1. Stig umhverfisþáttarins eru ekki tilviljanakennd, bundin hrif.
 - 3.1.1. Mismunandi svörun yrkja við tilraunaliðum í þáttatilraunum, sbr. 1.4.
 - 3.1.2. Skörp skil í ræktunarskilyrðum, t.d. flokkun tilraunastaða í ræktunarbelti, mismunur tilrauna eftir því hvort þær verða fyrir sýkingu af jurtasjúkdómi eða ekki, vökvun.
 - 3.1.3. Varanlegar breytingar á ræktunarskilyrðum með tímanum, t.d. loftslagsbreyting, nýr sjúkdómsvaldur, bætt næringarástand þar sem áður var skortur á einhverju efni, breytt ræktunar- eða tilraunataekni, svo sem áburðarmagn, sáðtími, uppskerutími o.fl.
 - 3.2. Víxlhrif sem eru tilviljunarkennd, slembihrif, þ.e. víxlverkun yrkja við slembiþætti.
 - 3.3. Oft leikur vafi á hvort líta beri á hrif þáttar sem bundin eða slembihrif. Líta má á það sem einskonar viðurkenningu á vanþekkingu („state of ignorance“) að telja þau slembihrif. Á fyrsta stigi greiningar getur verið eðlilegt að líta á öll víxlhrif sem slembihrif. Í nánari greiningu er oft unnt að hagnýta tiltæka þekkingu til að greina bundin hrif frá. Úrslitaatriði er þegar hrif eru flokkuð sem bundin eða tilviljunarkennd, hvort unnt er að segja fyrir um þann þátt sem veldur víxlverkuninni, eða hafa vald á honum. Einnig skiptir markmiðið með greiningunni máli.
 - 3.4. Mismunur tveggja yrkja er misjafnlega breytilegur eftir því hvert parið er. Talað er um að yrki séu misjafnlega stöðug (stability) ef um slembiþætti er að ræða, t.d. árferði, en um misjafna aðlögun (adaptation) ef um bundinn þátt, t.d. ræktunarsvæði, er að ræða.
4. Afgangsbreytileiki innan tilrauna, tilraunaskekkja. Grófar skekkjur eða mistök eiga að koma í ljós við forvinnslu gagna og á fyrsta stigi tölfraðilegrar greiningar. Eru þær venjulegar ekki taldar til tilraunaskekkju. Venjulega má líta á tilraunaskekkju sem tilviljunarkennda og óháða milli reita, vegna þess að hending er látin ráða hvaða reitur fær hvern tilraunalið (yrki). Vert er að benda á tvær mikilvægar undantekningar. Í tilraunum með fjölærar tegundir eru frávik á sama

reit ár eftir ár ekki óháð. Milli þeirra er að jafnaði jákvæð eiginfylgni eða sjálf-fylgni. Í tilraunum þar sem borin eru saman mjög ólík yrki, t.d. mishávacin, en varðbeldi milli reita eru lítil eða engin, eru oft veruleg jaðaráhrif milli reita (Kempton o.fl., 1986). Þau bætast við tilraunasekkjuna og bjaga auk þess sam-anburð yrkjanna.

Oftast eru yrki prófuð við of ólík skilyrði til að fullnægjandi að sé meta meðalhrif þeirra samkvæmt 2. tölulið hér að ofan. Við mat á öryggi þessara meðalhrifa er ekki nóg að taka tillit til tilraunasekkjunnar, heldur verður að bæta við hana víxlverkandi slembihrifum.

VÍXLHRIF YRKJA OG UMHVERFIS

Víxlhrif erfða og umhverfis eru meðal helstu viðfangsefna þeirra sem fást við plöntukyn-bætur, sjá t.d. ágætar yfirlitsgreinar eftir Lin, o.fl. (1986), Westcott (1986) og Crossa (1990). Aastveit og Mejza (1992) settu þau í samhengi við tölfræðilega úrvinnslu á tvívíðum töflum. Í fyrstu voru látnar nægja reiknihendingar sem lýsa því hve mikil víxlhrifin eru, en brátt var farið að greina að hve miklu leyti þau má rekja til ákveðinna yrkja eða aðstæðna. Í yfirlitinu hér að ofan er gerður greinarmunur á stöðugleika (slembihrif) og aðlögun (bundin hrif). Lin o.fl. (1986) gera á samræmdu formi grein fyrir níu reiknihendingum sem hafa verið notaðar til að lýsa aðlögun og stöðugleika yrkja samkvæmt niðurstöðum tilraunaraða, oft án þess að gera greinarmun á þessu tvennu. Þeir skipta reiknihendingunum í þrjá flokka sem falla að þremur hugmyndum um stöðugleika, en síðar var bætt við þeirri fjórðu (Lin og Binns, 1988b). Þessar hugmyndir eða gerðir eru:

1. Uppskeyra af stöðugu yrki er jafnari í breytilegu umhverfi en uppskeyra af óstöðugu.
2. Stöðugt yrki svarar umhverfisáhrifum jafnt og yrkin gera að meðaltali, yfirburðir þess yfir meðaltalið eru hvarvetna þeir sömu (miklir eða litlir), hvort heldur upp-

skeran í tilrauninni var mikil, rýr eða í meðallagi.

3. Hjá stöðugu yrki er dreifni fráviksins lítil þegar uppskeyra er reiknuð samkvæmt aðhvarfi að vísi sem er mælikvarði á tilraunastaðina. Oftast er vísirinn einfaldlega meðaluppskeyra hverrar tilraunar.
4. Fjórða hugmyndin er hin sama og sú fyrsta, nema hún er takmörkuð við þá umhverfisþætti sem eru ófyrirsjáanlegir og má því líta á sem slembiþátt. Er það einkum árferði því að líta má á staði sem þekkta orsök breytileika, þeir eru valdir, en einnig koma t.d. mismunandi sáðtímar til álita því að áhrif þeirra ráðast mjög af óorðnu tíðarfari.

Í fyrstu og fjórðu gerð er átt við heildar-breytileika en ekki víxlhrif yrkja og umhverfis. Þegar yrki eru borin saman í röð tilrauna eru það þó víxlhrifin ein sem geta greint á milli stöðugleika ólíkra yrkja. Á það einnig við þótt yrkisval í tilraununum hafi verið nokkuð breytilegt. Ef unnið er með heildarbreytileikann í stað víxlverkunarinnar fá uppskerumestu og -minnstu tilraunirnar aukið vægi líkt og í aðhvarfi að meðaluppskeyru. Meginhluti breytileikans er sameiginlegur öllum yrkjum og því virðist gildi slíkra aðferða vafasamt. Fyrsta og fjórða gerð hafa gildi sem hugmyndir við greiningu á víxlhrifum, þótt ekki standist að beita þeim á heildaruppskeyru eins og gert hefur verið.

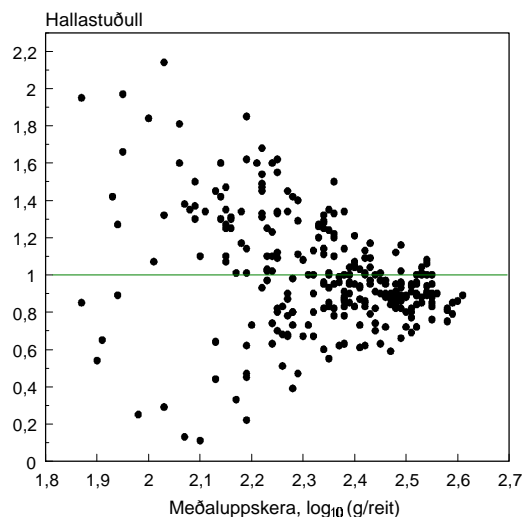
Notagildi stöðugleika af 3. gerð hefur verið dregið í efa því að hann er í rauninni aðeins mælikvarði á hve vel línulegt aðhvarf falli að gögnunum. Yrki sem fær stórt gildi svarar umhverfinu með öðrum hætti en hin án þess að vera endilega óstöðugra (Westcott, 1986; Lin o.fl., 1986). Ef veruleg frávik eru frá línulegu aðhvarfi virðist eðlilegra að nota 2. gerð fremur en 1. og 3. gerð, t.d. kvaðratsummu víxlhrifa hvers yrkis um sig, sem Wricke (1962) nefndi Ökovalenz, þótt sá mælikvarði sé ekki laus við þann veikleika sem síðast var nefndur.

Sú aðferð til að meta aðlögun eða stöðugleika, sem mesta athygli hefur vakið, er venjulega kennd við Finlay og Wilkinson (1963),

þótt hugmyndin að henni sé miklum mun eldri (Yates og Cochran, 1938; samkvæmt Westcott (1986) er fyrsta heimildin frá 1921, og Becker og León (1988) vísa í heimild frá 1934). Hún felst í því að reikna aðhvarf uppskeru hvers yrkis að meðaluppskeru tilraunarinnar, sjá 3. tölulið hér á undan. Að jafnaði er viðkomandi yrki sjálft í meðaltalinu, þannig að sú breyta sem á að vera óháð er það ekki til fulls. Tilgangurinn er að tengja víxlhrif yrkja og umhverfis við mælikvarða á umhverfið. Hugmyndin er sú að uppskeran sjálf sé besti fánlegi, einfaldi mælikvarðinn eða **vísirinn**. Finlay og Wilkinson (1963) beittu aðferðinni á niðurstöður tilrauna sem gerðar voru í Ástralíu með samanburð á safni yrkja af byggi víðs vegar að úr heiminum. Þeir unnu með lógariþma af uppskerutölunum til að skilyrðum um línulegt líkan væri betur fullnægt og gerðu þar með í rauninni ráð fyrir margfeldislíkani. Aðhvarfsgreiningin skýrði 60% af víxlhrifunum, þótt frávik frá línulegu aðhvarfi reyndust marktæk. Westcott (1986) hefur gefið yfirlit yfir þann árangur sem þessi aðferð hefur gefið og ræðir helstu veikleika hennar. Að jafnaði hefur hún ekki skýrt eins mikinn hluta víxlhrifanna og hjá Finlay og Wilkinson (1963) sem unnu með óvenju breytilegan efnivið, og í Ástralíu, þar sem þeir gerðu sínar tilraunir, er það einkum einn þáttur, þ.e. þurrkur, sem takmarkar uppskeru, og yrki eru misjafnlega þurrkþolin. Stundum er sambandið jafnvel óverulegt eða þá að það veltur á tiltölulega fáum tilraunum. Nýlega hafa birst greinar með svipuðu líkani, nema hvað gert er ráð fyrir breytilegu umhverfi (tilraunum) sem hendingarþætti og auðveldar það m.a. útreikninga þegar yrkisval er ekki hið sama í öllum tilraununum (Oman, 1991; Gogel o.fl., 1995). Seinna í þessari grein er sagt frá aðferðum þar sem uppskerumesta yrkið, eða meðaltal nokkurra uppskerumestu yrkjanna, er notað sem vísir í stað meðaltals allra yrkja.

Lin o.fl. (1986) túlka aðferð Finlay og Wilkinson (1963) sem stöðugleika af annarri gerð. Það orkar þó tvímælis. Styrkleiki aðferðarinnar felst í því að í rauninni sameinar hún 1. og 2.

gerð stöðugleika þar sem hún á við. Það sem hún hefur umfram 2. gerð er að greint er á milli óstöðugra yrkja af 2. gerð eftir því hvort þau eru tiltölulega uppskerumikil, þar sem uppskera er mikil, og uppskerulítill, þar sem uppskera er lítil, hallastuðull >1 , eða öfugt, hallastuðull <1 , sjá 1. mynd (úr Finlay og Wilkinson, 1963). Fyrri flokkurinn er óstöðugur samkvæmt fyrstu gerð en sá seinni stöðugur, og meðal yrkja sem eru uppskerulítill að meðaltali kunna að vera yrki með sértæka aðlögun (specific adaptability). Á punktariti sem sýnir hallastuðul og meðaluppskeru hvers yrkis (1. mynd) má því vænta þess að punktadreifin myndi þríhyrning, hjá uppskerumestu yrkjunum verða hallastuðlarnir á þröngu bili.



1. mynd. Samband aðlögunar, mældrar sem aðhvarf að meðaluppskeru tilraunar, og meðaluppskeru yrkis á lógariþmískum skala (Finlay og Wilkinson, 1963). Uppskerumikil yrki með víða aðlögun fá hallastuðull rétt undir einum. Hjá öðrum yrkjum er lágur stuðull til marks um stöðugleika.

Figure 1. The relationship between adaptation (regression coefficient) and variety mean yield for 277 barley varieties (Finlay and Wilkinson, 1963). A high yielding, widely adapted variety has 1.0 as the expected slope, but the estimates are biased towards a lower value. Otherwise a low value of the coefficient indicates above average stability.

Það yrki sem að meðaltali er uppskerumest er væntanlega í hópi hinna uppskerumestu víða eða alls staðar. Því er væntanlegur hallastuðull þess nálægt einum. Eins og sést á myndinni eru hallatalan þó aðeins lægri en einn. Er þess að vænta, jafnvel þótt sama yrkið væri í rauninni stöðugt í efsta sætinu, vegna þess að óháða breytan, meðaluppskeran, er ekki metin án skekkju. Matið á aðhvarfsstuðlinum verður því bjagað, of lágt.

Eins og að ofan getur nær aðhvarf að meðaluppskeru oft ekki að skýra nema lítinn hluta víxlhrifa. Eðlilegt er að líta á tilraunaniðurstöður úr fleiri en einni tilraun sem margar breytur, eina úr hverri tilraun eða umhverfi. Aðhvarfsgreiningin, sem hér hefur verið sagt frá, og ýmsar aðferðir fleiri eru tilraun til að túlka niðurstöðurnar með aðferðum sem eiga við uppgjör á einni breytu, en við það tapast óhjákvæmilega ýmsar upplýsingar. Því hafa menn gripið til ýmissa aðferða fjölbreytugreiningarinnar. Með höfuðþáttagreiningu má nálgast þá þætti samspilsins sem mestu valda (t.d. Mandel, 1971; Áslaug Helgadóttir, 1988). Líta má á þessa aðferð sem útvíkkun á aðferðinni með aðhvarfi að uppskeru (Zobel o.fl., 1988; Aastveit og Mejza, 1992). Veikleiki hennar er að ekki er unnið með þekktan þátt eða þætti, heldur er hann reiknaður úr niðurstöðunum og því ekki mælanlegur á annan hátt (Westcott, 1986). Rétt er að líta á höfuðþáttagreiningu fremur sem lýsandi en ályktandi tölfræði. Í þeirri mynd sem hún á best við uppgjör á yrkisprófunum og sambærilegum tilraunum er notað líkan með samleggjandi meðalhrifum yrkja og umhverfis en höfuðþáttagreiningu á víxlhrifum (Mandel, 1971). Er þessi aðferð nefnd AMMI (additive main effect and multiplicative interaction, Zobel o.fl., 1988; Crossa, 1990; Gauch, 1992) eða tvísamleggjandi (biadditive, Denis og Gower, 1996). Gildi aðferðarinnar er væntanlega mest ef víxlverkun yrkja og umhverfis einkennist af margfeldishrifum. Með sérstakri myndrænni framsetningu (biplot) má auðvelda túlkun á niðurstöðum sem fást með þessum aðferðum. Jafnt yrki sem staðir (umhverfi)

eru merktir á línurit með tveimur fyrstu höfuðþáttunum. Greina má sérstöðu hvers yrkis á tilteknum stað með ofanvarpi á ás sem dreginn er um upphafspunkturinn og punkt staðarins (Kempton, 1984).

Hér að ofan hefur ekki verið gerður skýr greinarmunur á aðlögun og stöðugleika, sbr. tölulið 3.4 í næsta kafla á undan. Í eins árs tilraunaröð sem gerð er á stóru svæði koma fram víxlhrif yrkja og umhverfis. Við varanlegan mismun staða bætist sá breytileiki í árferði, sem verður innan árs á stóru svæði, og mismunandi áhrif veðurfars eftir jarðvegi. Víxlhrif verða því ekki greind í aðlögun og stöðugleika nema völ sé á endurtekningu tilraunar á sama stað. Ef hugmyndum Lin og Binns (1988b) um 1. og 4. gerð stöðugleika er beitt á víxlhrif í stað uppskeru svarar 1. gerð til aðlögunar eins og hún er hér skilgreind, en 4. gerð til stöðugleika. Áslaug Helgadóttir o.fl. (1995) greindu á milli aðlögunar og stöðugleika í þriggja ára norrænni tilraunaröð sem verður vikið nánar að síðar. Skyld mati á stöðugleika er greining áhættu. Oft er hagkvæmt að taka stöðugt yrki eða ræktunaraðferð fram yfir óstöðugt þótt meðaluppskeran sé minni (Crossa, 1990), enda er uppskeran jafnan verðmætari þegar hún er lítil (Hólmgeir Björnsson, 1984).

Í kynbótum og yrkisprófunum er markmiðið að velja það eða þau yrki sem skara fram úr. Í rauninni er það því röðun yrkja sem skiptir máli. Ef skilyrðum línulegs líkans um samleggjandi hrif og sömu dreifni er sæmilega fullnægt fæst þó best nýting á gögnunum með línulegu líkani, þar sem tölulegt mat er lagt á hvert yrki í samanburði við önnur og röðin ein ekki látin nægja. Stundum getur vantað mikið upp á að skilyrðum um línulegt líkan sé fullnægt. Þá eru sætistöðulur, þar sem yrkjum er raðað eftir uppskeru í hverri tilraun, látnar koma í stað mældra gilda. Yrki sem í raun eru jöfn endurraðast af hendingu frá einni tilraun til annarrar, en misjöfn yrki hafa tilhneigingu til að halda innbyrðis röð sinni (Becker og Léon, 1988; Nassar og Hühn, 1987; Hühn og Nassar, 1989), og einnig má prófa

hvort um víxlhrif sé að ræða (Hühn og Léon, 1995). Sérstakar aðferðir eru til að prófa hvort víxlhrif eru vegna þess að uppskerumunur hverra tveggja yrkja sé mismikill að óbreyttri röð (margfeldishrif), eða þau raðist ólíkt eftir umhverfi (Baker, 1988; Cooper og DeLacy, 1994).

RÆKTUNARBELTI OG BELTI TIL PRÓFUNAR Á RÆKTUNARGILDI YRKIS

Stórum löndum er oft skipt í ræktunarbelti eða -svæði með tilliti til þess hvaða tegundir og yrki henti til ræktunar. Misjafnt er hve vel skilgreindar þær aðferðir eru sem hefur verið beitt til að ákveða þessa skiptingu. Byggðum á Íslandi hefur skipt í þrjú belti, einkum með tilliti til kornþroska (Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson, 1988). Á Norðurlöndum hefur verið rætt um að skilgreina belti þvert á löndin þannig að samnýta megi niðurstöður yrkisprófana. Helst er gert ráð fyrir að kortleggja löndin sameiginlega með tilliti til ræktunarvísitölu sem sé fall af veðurfarsþáttum og jafnvel fleiri umhverfisþáttum (SNP, 1992). Ef vel tekst til eiga niðurstöður yrkisprófana í meginatriðum að gefa sömu röðun yrkja hvar sem er innan beltis, en ólíka þegar komið er í næsta belti. Því ætti ekki að nota skiptingu í belti eftir umhverfisþáttum fyrr en gildi hennar hefur verið sannreynt með tilraunum. Ekki er víst að sama skiptingin eigi við hjá öllum tegundum.

Þar sem ekki er völ á kortlagningu umhverfisþátta sem grundvelli beltaskiptingar hefur verið gripið til þess ráðs að nota niðurstöður úr yrkisprófunum. Einnig eru þær notaðar til að sannreyna gildi eldri skiptingar. Meðal hugmynda er að finna erfðabátt fylgni milli yrkja í breytilegu umhverfi og er hún tilbrigði við aðhvarfsgreiningu til að meta stöðugleika yrkja sem rædd var í næsta kafla á undan. Ef fylgnin er há er röðun yrkja að mestu hin sama, en ekki er að neinu leyti hægt að yfirfæra niðurstöður milli staða ef hún er engin (Cooper og DeLacy, 1994). Oftast eru staðir margir svo að erfitt er að túlka allar hugsanlegar fylgnitölur. Reiknuð er fjar-

lægð milli yrkja í margvíðu rúmi og gripið til aðferða fjölbreytugreiningarinnar, svo sem röðunar eða klasagreiningar. Óþarft er að gera tilraunir á mörgum stöðum ef fylgnin er há. Því má fækka tilraunum í sparnaðarskygni á svæðum þar sem niðurstöður eru að jafnaði sambærilegar (Lin og Morrison, 1992; May og Kozub, 1995). Jafnframt er unnt að leiðbeina um val á yrkjum eða blendingslínnum eftir svæðum (Ouyang o.fl., 1995). Þetta uppgjör er oft erfitt að því leyti að yrkisval hefur ekki verið það sama alls staðar, og aðeins þau víxlhrif, sem valda breytilegri röðun yrkja, eiga að hafa áhrif á flokkun tilraunastaða. Hreinum margfeldishrifum er eytt með því að staðla niðurstöður að sama erfðabreytileika í öllum tilraunum (Cooper og DeLacy, 1994).

Á Norðurlöndum er vallarfoxgras sú tegund sem er prófuð víðast og var niðurstöðum yrkisprófana safnað. Nokkuð er misjafnt eftir löndum hve miklum gögnum var safnað, einkum hvað þau ná yfir langt tímabil. Gengið var út frá þeirri hugmynd að yrki, sem ekki eru aðlöguð, séu óstöðug og því geti framlag þeirra til að meta hvaða staðir gefi svipaðar niðurstöður verið nokkuð tilviljunarkennt. Þess í stað var fyrst valinn líklegur kjarni staða innan beltis, einstök yrki og staðir síðan felldir niður eða þeim bætt við, þannig að innan hvers beltis yrði lítil eða engin víxlverkun milli aðlagðra yrkja og staða (Hólmgeir Björnsson, 1993). Þessi yrki eru jafnframt þau uppskerumestu að jafnaði og uppskerumunur þeirra lítill. Þó er ein mikilvæg undantekning, í suður- og vestur-Noregi ber eitt yrki (Grindstad) af með uppskeru og eru yfirburðir þess yfir önnur yrki breytilegir. Belti innan landa voru tengd saman í fimm norræn belti. Í því syðsta er Danmörk og hluti suður- og mið-Svíþjóðar. Hin fjögur ná yfir hluta af Finnlandi, Svíþjóð og Noregi hvert, og í því nyrsta er Ísland. Markmiðið með þessari beltaskiptingu er að flokka saman tilraunastaði sem gefi sambærilegar niðurstöður svo að yrkisprófun geti verið sameiginleg. Veikleiki niðurstöðunnar er að hún er háð þeim yrkjum sem notuð voru, og í einstökum atriðum hefði að sjálfsgöðu verið

unnt að komast að annarri niðurstöðu með sömu gögnum. Alvarlegasti ágallinn er þó hve fá yrki voru sameiginleg í prófun tveggja eða fleiri landa. Því er ekki unnt að ganga að því vísu að beltin séu alveg sambærileg milli landa, og ekki var alveg laust við víxlverkun yrkja og landa innan hinna norrænu belta. Gamlar niðurstöður sem þessar gætu einnig reynst gagnlegar til að prófa tilgátur þess eðlis að ræktunarvísitala, sem er fall af veðurfarsþáttum, sé nothæf til að skilgreina ræktunarbelti. Þá væri ekki nauðsynlegt að bíða eftir niðurstöðum nýrra tilrauna til að prófa beltaskiptingu.

NAUÐSYNLEGUR FJÖLDI TILRAUNA

Samanburður yrkja er jafnan endurtekinn á allmörgum stöðum og í tvö eða fleiri ár. Niðurstöður úr einni eða fáum tilraunum eru alltaf ófullnægjandi, nema helst þegar um er að ræða yrki sem reynast illa strax í fyrstu prófun. Til þess að ákveða nauðsynlegan fjölda tilrauna fyrirfram þarf ákveðnar hugmyndir um hvað munurinn þarf að vera mikill til þess að hann skipti verulegu máli, og jafnframt er nauðsynlegt að hafa sæmilega skýra hugmynd um væntanlega tilraunaskekkju og aðra slembiþætti sem geta haft áhrif á yrkjamun.

Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson (1983) reiknuðu nauðsynlegan fjölda tilrauna í nokkrum dæmum. Gert var ráð fyrir að finna ætti uppskerumun sem nemur 2,0 hkg/ha af heyi (85% þe.) með 90% öryggi og 5% líkum á höfnunarmistökum, og að staðalskekkja árlegra meðaltala einstakra yrkja í tilraun sé 3,83, sem er samkvæmt niðurstöðum úr tilraunum með vallarfoxgras. Ef ekki eru aðrir skekkjuliðir þarf 44 uppskerumælingar (sjá t.d. Steel og Torrie, 1980). Hér er þó ekki tekið tillit til eiginfylgni skekkju sem hefur reynst töluverð í íslenskum tilraunum (Hólmgeir Björnsson, 1996b). Af því leiðir að vægi tilrauna í uppgjöri á að vera minna en nemur árafjölda. Gerum ráð fyrir að eiginfylgnin fylgi fyrstu gráðu eiginadhverfu líkani, að stuðull eiginfylgni sé 0,25 milli samliggjandi ára ($0,25^2=0,0625$ á tveggja ára bili), og að

útreikningar hafi sýnt að þörf sé á 15 þriggja ára tilraunum (45 mælingum). Sama árangri mætti þá ná með 21 tveggja ára tilraunum (42 uppskerumælingar) eða 10 fimm ára tilraunum (50 uppskerumælingar).

Í útreikningunum hér að ofan var ekki gert ráð fyrir víxlverkun við umhverfisþætti sem lið í skekkju. Það er einmitt vegna víxlhrifa yrkja og umhverfis sem ekki er nóg að auka nákvæmni með því að fjölga endurtekningum í tilraunum, heldur þarf að endurtaka tilraunir við breytileg skilyrði. Einnig getur þurft að prófa yrki með tillit til mismunandi hagnýtingar eða meðferðar, t.d. í þáttatilraunum (Hólmgeir Björnsson, 1996a). Í áðurgreindri heimild (Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson, 1983) er sýnt hvernig nauðsynlegur fjöldi tilrauna vex ef um er að ræða víxlhrif yrkja og tilrauna. Í uppgjöri innan ræktunarbelta er eðlilegt að telja einungis víxlhrif aðlagðra yrkja til skekkju, þannig að víxlhrif yrkja við staði séu lítil sem engin (Hólmgeir Björnsson, 1993). Þau víxlhrif yrkja sem til greina koma eru því fyrst og fremst tveggja þátta við ár og þriggja þátta við ár og staði. Í uppgjöri á norrænum vallarfoxgrastilraunum var ekki unnt að greina milli tilraunaskekkjunnar og þriggja þátta víxlhrifa, en þessi afgangsbreytileiki var verulega ólíkur eftir svæðum. Víxlhrif yrkja við ár voru einnig breytileg, víðast um 10–15% til viðbótar afgangsbreytileikanum, m.a. á Íslandi, en sums staðar meiri (Hólmgeir Björnsson, 1996b). Víxlhrif ára og yrkja virðast fremur háð árinu en því hve lengi tilraunin hefur staðið. Íslensku yrkin Korpa og Adda hafa þó stundum verið tiltölulega uppskerulítill fyrsta árið og er hugsanleg skýring lakari sáðvara af innlendum en erlendum yrkjum (Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson, 1983; Áslaug Helgadóttir, 1982). Í samnorrænum tilraunum með vallarfoxgras fékkst mat á öllum þáttum víxlhrifa, og þar reyndist dreifni þeirra vera samtals um 68% til viðbótar tilraunaskekkjunni (Áslaug Helgadóttir o.fl., 1995). Innan einstakra landa og svæða er þessi breytileiki væntanlega minni, en þó örugglega svo mikill að verulegu máli

skipti að tillit sé tekið til hans. Næmni tilrauna-raðarinnar eykst að mun með því að láta sam-anburð yrkja dreifast á langan tíma, og prófun í t.d. 2–3(–4) ár verður að teljast ófullnægjandi, jafnvel þótt tilraunir séu margar (Hólmgeir Björnsson, 1996b). Óæskilegt er þó að prófun nýs yrkis taki mjög langan tíma áður en árangur er fyrst metinn því að þá getur dregist úr hömlu að taka það í ræktun. Sjónarmiðin má samræma með því að halda prófun yrkja áfram eftir að þau hafa verið viðurkennd (Hólmgeir Björnsson, 1996a).

Eins og fram hefur komið hafa íslenskar yrkisprófanir lengst af verið slitróttar og fá yrki verið prófuð svo fullnægi þeim kröfum sem dæmið hér að ofan var miðað við, t.d. aðeins fjögur yrki af vallarfoxgrasi, Engmo, Bottnia II, Korpa og Adda. Rétt er að minna á að nauðsynlegur fjöldi breytist mjög mikið t.d. ef krafan um þann mun sem á að finna er aukin eða minnkuð. Hins vegar þarf ekki eins margar tilraunir til að greina lakari yrki frá, einkum ef þau hafa tilhneigingu til að bregðast í einstökum tilraunum. Uppskerumunur að-lagaðra vallarfoxgrasyrkja er að jafnaði lítill og því er röðun þeirra óviss. Í 66 tilraunaárum gaf Engmo $0,66 \pm 0,76$ hkg/ha umfram Korpu (Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson, 1983). Munurinn var meiri í fyrsta árs uppskeru en síðar og meiri í tvíslegnum tilraunum en einslegnum. Í 26 tilraunaárum var uppskera í seinni slætti $0,94 \pm 0,26$ hkg/ha meiri hjá Engmo en Korpu. Einnig kom fram að þurr-efnishlutfall í sýnum af uppskeru var hærra hjá Engmo, en að fosfór og kalsíum var meira í Korpu en Engmo vallarfoxgrasi. Það gæti verið vegna meiri íblöndunar af tvíkímblöð-ungum eins og arfa þótt ekkert annað bendi til þess. Hins vegar munaði litlu á magníum, natríum og meltanleika. Í næstu tilraunaröð var uppskerumunur yrkjanna að meðaltali $0,64$ hkg/ha (21 uppskeruár, Áslaug Helgadóttir, 1982) og í þremur tilraunum sem hófust 1982 var munurinn $-0,03$ hkg/ha (10 uppskeruár). Það má því telja allvel staðfest að uppskeru-munur þessara yrkja sé að jafnaði lítill eða enginn, en hann kann þó að fara eftir meðferð.

UPPGJÖR YRKISPRÓFANA

Hefðbundin aðferð við að meta árangur yrkis-prófana er að reikna uppskeru yrkja í hlutfalli af viðmiðunaryrki sem er hið sama á stóru svæði og um langan tíma. Nota má t-próf til að prófa hvort meðalhlutfall nýs yrkis víki marktækt frá 100, þ.e. uppskeru viðmiðunar-yrksins (sjá t.d. Andersson, 1989). Kostir þess-arar aðferðar eru einkum hve einföld hún er, og henni má beita alveg óháð því hvaða yrki önnur eru prófuð og þótt yrkisval sé breytilegt á prófunartímanum. Í aðferðinni felst að gert er ráð fyrir margfeldislíkani, bæði fyrir yrkja-mun og tilraunaskekkju. Sami uppskerumunur vegur því meira sem uppskeran er minni. Í þeim aðferðum sem lýst er hér á eftir er hins vegar er gert ráð fyrir samleggjandi líkani. Að líkindum skiptir litlu máli hvort gert er ráð fyrir samleggjandi eða margfeldislíkani, sé þess gætt að taka ekki til uppgjors tilraunir með óeðlilega litla uppskeru, eða svo litla að ræktun við slík skilyrði komi vart til álita.

Gildi samanburðar við viðmiðunaryrki veltur á því að vel hafi tekist til með val á því yrki sem valið er til viðmiðunar. Með aðferð minnstu kvaðrata og útvíkkun á henni má bera öll yrki saman og nýta til þess bæði beinan og óbeinan samanburð. Þá verða sérstök við-miðunaryrki óþörf (sjá Metoder för analys av sorts-försök (Hólmgeir Björnsson, 1982 (fjöl-ritað handrit)); Patterson og Silvey, 1980). Með þeirri reiknitækni, sem nú er aðgengileg, liggur beint við að nota aðferð sennilegustu frávika (REML, Residual Maximum Likeli-hood). Var henni beitt á niðurstöður úr korn-ræktartilraunum á vegum Jónatans Hermanns-sonar (Hólmgeir Björnsson og Þórdís Anna Kristjánsdóttir, 1996). Farið var með tilraunir sem slembiþátt, sem og víxlhrif yrkja og ára, sem urðu því liður í skekkjunni á samanburði yrkja. Til uppgjors á kornuppskeru, hkg/ha, voru notuð meðaltöl yrkja úr hverri tilraun. Í því uppgjöri sem birtist í eldri tilraunaskýrsl-um voru tilraunir vegnar í öfugu hlutfalli við dreifni tilraunaskekkjunnar. Bowman og Rawl-ings (1995) sýna hvernig nota má þekkingu um sambandið milli tilraunaskekkju og meðal-

uppskeru tilrauna til að bæta þessa aðferð. Hafna má tilraunum með óeðlilega mikla tilraunaskekkju. Í uppgjörinu, sem hér er sagt frá, var auk tilraunaskekkjunnar tekið tillit til þeirra víxlhrifa sem eru samþætt tilraunaskekkjunni. Var það gert með ítrun. Dreifni víxlhrifanna var bætt við tilraunaskekkju hvernar tilraunar og uppskerutölur vegnar í öfugu hlutfalli við þá summu. Fyrst var valið líklegt gildi á dreifninni, en því svo breytt þar til afgangsbreytileikinn varð jafn summu tilraunaskekkju og víxlhrifa. Varð hún 5,55, sem skiptist í 1,92 vegna tilraunaskekkju og 3,63 vegna víxlhrifa. Mesta vægið var 1,37 sinnum miðgildi tilraunanna en 3,02 sinnum minnsta vægið. Jafngildir það því að meðaltal allra þriggja samreitanna í tilrauninni með minnsta vægið hafi einungis gefið upplýsingar á við einn samreit í þeirri með mesta vægið. Raunverulegt misvægi tilrauna verður þó minna ef þær eru ekki allar frá sama árinu. Er það vegna víxlhrifa yrkja og ára. Dreifni þeirra var 0,57 og hefur hún áhrif á skekkju samanburðar yrkja þannig að hún er því minni sem yrki hafa verið prófuð í fleiri ár þótt tilraunir séu jafnmargar. Ef þetta uppgjör er skoðað með tilliti til þeirrar flokkunar á breytileikabáttum sem kynnt er í upphafi þessarar greinar vaknar grunur um það sé einfaldað um of. Ætla má að þau víxlhrif yrkja og ára sem fengust séu vanmat á áhrifum árferðis á mismun yrkja, vegna þess að tilraunirnar voru í ýmsum landshlutum og árferði er að jafnaði nokkuð ólíkt, t.d. í Eyjafirði og undir Eyjafjöllum, þótt á sama ári sé. Ekki er fullmótað hvernig fara eigi með víxlhrif yrkja og staða. Til greina kemur að skipta tilraunastöðum í flokka þar sem vænta má ólíkrar röðunar yrkja vegna landshátta eða jarðvegs. Víxlhrif við flokka verða að föstum hrifum sem eru vegna mismunandi aðlögunar yrkja. Þá eru afgangsvíxlhrif sem má telja að séu vegna mismunandi stöðugleika. Ekki er hægt að gera tvíraða- og sexraða yrki upp saman vegna þess hve ólíkt þau reynast við mismunandi skilyrði.

Í uppgjöri á fjörlærum tilraunum eru nokkrir örðugleikar á uppgjöri með ár sem þátt vegna

eiginfylgni skekkju. Þetta má leysa með því að reikna línuleg samanburðarföll og gera upp hvert þeirra um sig líkt og um einærar tilraunir væri að ræða (Áslaug Helgadóttir o.fl., 1995; Hólmgeir Björnsson, 1996b). Ef norrænar tilraunir með vallarfoxgras hefðu verið gerðar upp í venjulegri fervikagreiningu með yrki, ár og staði sem þætti án þess að taka tillit til eiginfylgninnar hefði dreifni þriggja þátta víxlhrifa verið vanmetin (Áslaug Helgadóttir o.fl., 1995). Ef markmiðið hefði verið mat á dreifnihlutum hefði betra mat fengist með REML (óbirtar niðurstöður).

Ástæða getur verið til að álykta um hvaða mismunur yrkja sé marktækur. Í áður nefndu uppgjöri á tvíraðabyggi voru 46 yrki og því er um 1035 pör að ræða sem bera má saman. Ef þau eru öll borin saman með t-prófi má vænta þess að 52 sinnum fáist marktækur munur við 5% höfnunarhættu, þótt öll yrkin væru í rauninni jöfn. Þrátt fyrir þetta verður að telja t-prófið gagnlegt við skoðun á niðurstöðum ef menn hafa vankanta þess í huga. Oft er mælt með þeirri reglu að beita ekki t-prófi nema núlltilgátu um engan mun hafi áður verið hafnað í F-prófi. Sá varnagli dugir þó skammt. Þess í stað má beita einhverri þeirra aðferða við margfaldan samburð (multiple comparisons) sem má finna í almennum kennslubókum um tölfræði. Hér á best við aðferð sem kennd er við Dunnett (1955) um samanburð við eina ákveðna viðmiðun. Einnig eru til aðferðir þar sem borið er saman við þann „besta“ í stað ákveðinnar viðmiðunar (Gupta og Kim, 1984). Frítölur skekkju eru ekki þekktar nema í fervikagreiningu, ekki t.d. í uppgjöri tilraunaraða með REML. Í uppgjörinu á kornræktartilraunum, sem getið var hér að ofan, má notast við frítölur víxlhrifa yrkja og ára sem voru 65. Líklega mætti nota hærri tölu, en frítölurnar eru þegar orðnar nógu margar til að fjöldinn skipti litlu máli. Ýmsir aðrir örðugleikar eru á að beita þekktum aðferðum, einkum vegna misjafnrar endurteknigar yrkja.

Lin og Binns (1991) beittu þremur aðferðum sem lýsa mismunandi hliðum á niðurstöðunum

til að túlka niðurstöður yrkisprófana. Í tveimur þeim fyrri er unnið með breytileika milli staða og meðaltal ára því notað, en í hinni þriðju er unnið með breytileika milli ára á hverjum stað.

1. Reiknað er aðhvarf uppskeru hvers yrkis að meðaluppskeru tilrauna (Finlay og Wilkinson, 1963) og klasagreiningu (cluster analysis) síðan beitt til að flokka yrki eftir bæði uppskeru og víxlhrifum (Lin og Butler, 1990).
2. Reiknað er gildi sem er hugsað sem mælikvarði á „yfirburði“ (superiority) yrkis (Lin og Binns, 1988a).
3. Reiknaður er stöðugleiki af fjórðu gerð.

Klasagreining sú, sem þarna er notuð, byggist á sama línulega líkaninu og notað er í fervikagreiningu á tveimur þáttum með víxlhrifum. Klösunin byggist bæði á meðaluppskerumun yrkja og frávikum frá stöðugum (samsíða) uppskerumun. Gert er ráð fyrir aðferð Finlay og Wilkinson (1963) sem hluta af þessari aðferð. Það er þó óþarft, og hún á aðeins við í því sérstaka tilfelli þegar frávik frá samsíða svörun eru línulegt fall af meðaluppskeru tilrauna eða einhverjum öðrum heppilegum vísi.

Sú aðferð Lin og Binns sem mestu ræður um mat á yrkjum er mælikvarði á yfirburði (2). Í stað þess að bera saman við viðmiðunaryrki, sem e.t.v. hentar ekki á öllu tilraunsvæðinu, er reiknuð summa frávika í öðru veldi frá uppskerumesta yrkinu í hverri tilraun og deilt með viðeigandi stuðli (Lin og Binns, 1988a; Áslaug Helgadóttir og Þórdís A. Kristjánadóttir, 1991). Til þess að setja þessa aðferð í samhengi við þær aðferðir sem áður er lýst má segja að uppskera uppskerumesta yrkisins sé hér notuð sem vísir tilraunarrinnar, en ekki er lögð áhersla á að meta hvort fundinn uppskerumunur yrkja sé marktækur á öllu svæðinu eða hluta þess. Áslaug Helgadóttir o.fl. (1995) notuðu í staðinn sem vísi meðaltal þess fjórðungs yrkja sem uppskerumestur var á hverjum stað í þriggja ára tilraunum með vallarfoxgras. Breytilegum frávikum hvers yrkis frá þessari viðmiðun var

skipt í tvo liði, annan vegna aðlögunar, þ.e. víxlhrif við staði, og hinn vegna stöðugleika, þ.e. víxlhrif við ár innan staða.

LOKAORÐ

Hér á undan hefur verið gerð nokkuð ítarleg grein fyrir ýmsum þáttum sem varða uppgjör yrkisprófana og eiga einnig að miklu leyti við um aðrar tilraunaraðir. Mestu varðar að menn geri sér grein fyrir hvaða þættir eru slembiþættir. Fer það m.a. eftir því hve víðtækar ályktanir á að draga af niðurstöðunum. Ef niðurstöður eru breytilegar milli staða eða ára varðar meiru að endurtaka tilraunirnar í heild sinni en að hafa margar endurtekningar í hverri tilraun. Ýmsar þær aðferðir sem sagt er frá eru of tímafrekar til þess að þeim verði oft beitt. Hins vegar á ekkert að vera því til fyrirstöðu að skilgreina staði eða tilraunir sem slembiþátt í uppgjöri á röð tilrauna, þótt verulegt ójafnvægi sé í gögnunum, vegna þess hve uppgjör með aðferð sennilegustu frávika (REML) er orðið auðvelt í forriti eins og Genstat (Payne o.fl., 1993). Það eru þó takmörk fyrir því hve ójafnvægið má vera mikið. Misunandi sjónarmið geta átt við eftir því hvort um er að ræða tilraunir kynbótamanna, opinberar yrkisprófanir vegna viðurkenningar á nýjum yrkjum, eða tilraunir í leiðbeiningarskyni (Hólmgeir Björnsson, 1996a).

HEIMILDIR

- Aastveit, A.H. & S. Mejza, 1992. A selected bibliography on statistical methods for the analysis of genotype \times environment interaction. *Biuletyn Oceny Odmian* **24–25**: 83–97.
- Andersson, S., 1989. Sorter för norra Sverige 1989–1990. *Aktuellt från lantbruksuniversitetet* **375**: 27 s.
- Áslaug Helgadóttir, 1982). Samanburður á stofnum vallarfoxgrass, vallarsveifgrass, túnvinguls og hávinguls 1975–1981 (Variety trials in *Phleum pratense*, *Poa pratensis*, *Festuca rubra* and *Festuca pratensis* 1975–1981). *Fjölrit RALA nr. 92*: 49 s.
- Áslaug Helgadóttir, 1988. Leit að hentugum grastegundum til uppgræðslu á hálendi (In search of suitable grass varieties for reclamation purposes in Iceland). *Búvísindi* **1**: 11–33.

- Áslaug **Helgadóttir**, Friðrik **Pálmason** og Hólmgeir **Björnsson**, 1977. Áhrif brennisteinsáburðar á heyfeng og brennistein í grasi (The effect of sulphur fertilization on hay yield and its inference on sulphur content of grass). *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir* **9(2)**: 3–21.
- Áslaug **Helgadóttir**, Hólmgeir **Björnsson** & Þórdís A. **Kristjánsdóttir**, 1995. Analysis of a site \times year experiment with timothy polycross progeny. *Euphytica* **82**: 242–251.
- Áslaug **Helgadóttir** & Þórdís A. **Kristjánsdóttir**, 1991. Simple approach to the analysis of $G \times E$ interactions in a multilocal spaced plant trial with timothy. *Euphytica* **54**: 65–73.
- Baker**, R.J., 1988. Tests for crossover genotype-environment interactions. *Canadian Journal of Plant Science* **68**: 405–410.
- Becker**, H.C. & J. **Léon**, 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* **101**: 1–23.
- Bowman**, D.T. & J.O. **Rawlings**, 1995. Establishing a rejection procedure for crop performance data. *Agronomy Journal* **87**: 147–151.
- Cooper**, M. & I.H. **DeLacy**, 1994. Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. *Theoretical and Applied Genetics* **88**: 561–572.
- Crossa**, J., 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in Agronomy* **44**: 55–85.
- Denis**, J.-B., J.C. **Gower**, 1996. Asymptotic confidence regions for biadditive models: Interpreting genotype-environment interactions. *Applied Statistics* **45**: 479–493.
- Dunnett**, C.W., 1955. A multiple comparisons procedure for comparing several treatments with a control. *Journal of the American Statistical Association* **50**: 1096–1121.
- Finlay**, K.W. & G.N. **Wilkinson**, 1963. The analysis of adaption in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* **14**: 742–754.
- Gaugh**, H.G., 1992. *Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs*. Elsevier, Amsterdam.
- Gogel**, J.G., B.R. **Cullis**, & A.P. **Verbyla**, 1995. REML estimation of multiplicative effects in multienvironment variety trials. *Biometrics* **51**: 744–749.
- Guðni **Porvaldsson** & Hólmgeir **Björnsson**, 1990. The effects of weather on growth, crude protein and digestibility of some grass (Áhrif veðurþátta á sprettu, hráprótein og meltanleika nokkurra grasa á Íslandi). *Búvísindi* **4**: 19–36.
- Gupta**, S.S. & W. **Kim**, 1984. A two stage elimination type procedure for selecting the largest of several normal means with a common unknown variance. Í: *Design of Experiments, Ranking and Selection* (ritstj. T.J. Santner & A.C. Tamhane): 77–94.
- Hólmgeir **Björnsson**, 1975. Köfnunarefni og gras-spretta. *Freyr* **71**: 330–337.
- Hólmgeir **Björnsson**, 1980. „Það er svo bágð að standa í stað.“ Um málefni tilraunastöðvanna í jarðrækt. *Freyr* **76**: 320–325.
- Hólmgeir **Björnsson**, 1984. Er unnt að jafna árferðismun með breytilegri áburðargjöf? *Freyr* **80**: 93–96.
- Hólmgeir **Björnsson**, 1993. Zones for performance testing of timothy (*Phleum pratense* L.) in the Nordic countries. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* **43**: 97–113.
- Hólmgeir **Björnsson**, 1996a. Viðurkenning og prófun nýrra yrkja í landbúnaði (Acceptance and testing of varieties of agricultural crops). *Búvísindi* **10**: 115–126.
- Hólmgeir **Björnsson**, 1996b. On the contribution of variety-by-year effects to the $G \times E$ interaction in timothy (*Phleum pratense* L.). Results from Nordic variety trials. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* **46**: 112–120.
- Hólmgeir **Björnsson** & Áslaug **Helgadóttir**, 1988. The effect of temperature variation on grass yield in Iceland, and its implications for dairy farming. Í: *The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Vol. 1 Assessments in Cool Temperature and Cold Regions* (ritstj. M.L. Parry, T.R. Carter & N.T. Konijn). Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht: 445–474.
- Hólmgeir **Björnsson** & Guðni **Porvaldsson**, 1983. Prófanir á stofnum af vallarfoxgrasi, vallarsveifgrasi og túnvingli 1955–1975. *Fjölrít RALA* **103**: 137 s.
- Hólmgeir **Björnsson** & Jónatan **Hermannsson**, 1987. Áburðartími, skipting áburðar og sláttutími. Í: *Ráðunautafundur 1987*. Búnaðarfélag Íslands og Rannsóknastofnun landbúnaðarins: 77–91.
- Hólmgeir **Björnsson** & Jónatan **Hermannsson**, 1988. Ræktunarsvæði. Í: *Skýrsla um starfsemi*

- Rannsóknastofnunar landbúnaðarins 1985–1987* (ritstj. Áslaug Helgadóttir, Borgþór Magnússon & Guðrún Pálsdóttir). *Fjölrit RALA nr. 130*: 114–115.
- Hólmgeir **Björnsson** & Þórdís A. **Kristjánsdóttir** (ritstj.), 1996. Jarðræktarrannsóknir 1995. *Fjölrit RALA nr. 185*: 81 s.
- Hühn, M.** & **J. Léon**, 1995. Nonparametric analysis of cultivar performance trials: Experimental results and comparison of different procedures based on ranks. *Agronomy Journal* **87**: 627–632.
- Hühn, M.** & **R. Nassar**, 1989. On tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. *Biometrics* **45**: 997–1000.
- Kempton, R.A.**, 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **103**: 123–135.
- Kempton, R.A.**, **R.S. Gregory**, **W.G. Hughes** & **P.J. Stoehr**, 1986. The effect of interplot competition on yield assessment in triticale trials. *Euphytica* **35**: 257–265.
- Lin, C.S.** & **M.R. Binns**, 1988a. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Canadian Journal of Plant Science* **68**: 193–198.
- Lin, C.S.** & **M.R. Binns**, 1988b. A method of analyzing cultivar × location × year experiments: a new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics* **76**: 425–430.
- Lin, C.S.** & **M.R. Binns**, 1991. Assessment of a method for cultivar selection based on regional trial data. *Theoretical and Applied Genetics* **82**: 379–388.
- Lin, C.S.** & **M.R. Binns** & **L.P. Lefkovitch**, 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science* **26**: 894–900.
- Lin, C.S.** & **G. Butler**, 1990. Cluster analysis for analyzing two-way classification data. *Agronomy Journal* **82**: 344–348.
- Lin, C.S.** & **M.J. Morrison**, 1992. Selection of test locations for regional trials of barley. *Theoretical and Applied Genetics* **83**: 968–972.
- Mandel, J.**, 1971. A new analysis of variance model for non-additive data. *Technometrics* **13**: 1–18.
- May, K.W.** & **G.C. Kozub**, 1995. Genotype × environment interactions for two-row barley grain yield and implications for selection of test locations. *Canadian Journal of Plant Science* **75**: 571–575.
- Nassar, R.** & **M. Hühn**, 1987. Studies on estimation og phenotypic stability: Test of significance for nonparametrics measures of phenotypic stability. *Biometrics* **43**: 45–53.
- Oman, S.D.**, 1991. Multiplicative effects in mixed model analysis of variance. *Biometrika* **78**: 729–739.
- Ouyang, Z.**, **R.P. Mowers**, **A. Jensen**, **S. Wang** & **S. Zheng**, 1995. Cluster analysis for genotype × environment interaction with unbalanced data. *Crop Science* **35**: 1300–1305.
- Patterson, H.D.** & **V. Silvey**, 1980. Statutory and recommended list trials of crop varieties in the United Kingdom. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*. **143**: 219–252.
- Payne, R.W.**, o.fl., 1990. *Genstat 5, Release 2 Reference Manual Supplement*. NAG Ltd. Oxford: 131 s.
- SNP**, 1986. Samordnad odlingsvärdesprovning i Norden. Rapport utarbetad av Samnordisk planteförädlings (SNP) arbetsgrupp för harmonisering av sortidentifikation och odlingsvärdesprovning. *SNP nr. 14*: 118 s.
- SNP**, 1992. Agroklimatisk kartlegging av Norden. Grunnlag og framlegg til gjennomføring av soneinndeling. *Samnordisk Planteforedling. Skrifter och rapporter nr. 5*: 97 s.
- Steel R.G.D.** & **J.H. Torrie**, 1980. *Principles and Procedures of Statistics*. 2. útg. McGraw Hill, New York.
- Westcott, B.**, 1986. Some methods of analysing genotype environment interaction. *Heredity* **56**: 243–253.
- Wricke, G.**, 1962. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* **47**: 92–96.
- Yates, F.** & **W.G. Cochran**, 1938. The analysis of groups of experiments. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **28**: 556–580.
- Zobel, R.W.**, **M.J. Wright** & **H.G. Gauch**, 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* **80**: 388–393.

Handrit mótekið 4. janúar 1996,
samþykkt 16. janúar 1997.