

REZISZTENCIA-VIZSGÁLATOK POLIFAKTORIÁLIS KÍSÉRLETEKBEN*

O'SVÁTH JÁNOS

MTA Mezőgazdasági Kutató Intézete, Martonvásár

Rezisztencia alatt előadásomban állati és növényi kártevőkkel és kórokozókkal szembeni ellenállást értek, de mondanivalóim értelemszerűen vonatkozathatók a gyomflóra által okozott károsodásokra is. Miközben a kukorica rezisztenciájáról szólok, nem kerülhetők el más növényekkel kapcsolatban tapasztaltakra való hivatkozások sem. Példáimat a martonvásári kutatásokból igyekeztem meríteni.

A kísérletezés szükségessége

Egy bizonyos genotípusú kórokozóra vonatkozó rezisztencia a gazdanövény genotípusától és a környezettől függ. Genotípuson belül a rezisztencia-vizsgálat mind a kórokozó, mind a gazdanövény fenoökológiáját, ill. e két élettani magatartás sajátos stratégiákkal vívott harcát és annak várható kimenetelét tekinti tárgyának. E vizsgálatok első lépése mindig a spontán, később a többé-kevésbé céltudatos tervszerű megfigyelésen (észlelésen) és az adatgyűjtésen alapszik. Ahhoz azonban, hogy sor kerülhessen mélyebben értelmezhető eredményeket ígérő rezisztencia-vizsgálatokra, az éles megfigyelésen, megfelelő technológián és a statisztikai feldolgozáson kívül mindenekelőtt *kísérletre* van szükség.

A valóságban csak a fenotípusos rezisztenciára vonatkozólag gyűjthetünk adatokat. Ha ezek az adatok megfelelő ortogonális elrendezésű (különböző genotípusokat és blokkokat tartalmazó) kísérlethől származnak, akkor a fenotípusos értékek szétválaszthatók genotípusos és környezeti komponenseire, ill. a fenotípusos variancia genotípusos és környezeti varianciákra.

A kísérlet típusának kiválasztása

Választásunkat elsősorban anyagi és időbeli lehetőségeink korlátozzák. E lehetőségeken belül a kísérlet-típus kiválasztását a vizsgálat célja irányítja.

A) Ha kevés a pénzünk és kevés az időnk, akkor elsősorban *laboratóriumi*, másodszorban *üvegházi és tenyészdedény kísérletekre* gondolunk. A környezeti

* Az előadás elhangzott a Növénynemesítési Tanácskozáson 1968. április 19-én.

tényezők irányíthatóságának a rendelkezésre álló technikai berendezések (fitotron), ill. azok működési pontosságára szab határt.

B) Ha kevés a pénzünk és valamivel több az időnk, akkor az előző lehetőségek mellett még *szabadföldi kísérletekben való adatgyűjtésre* kell gondolnunk. Aligha lehet gazdaságosabban kísérletezni, mint egy más célból beállított kísérletbe beállni, amikor is a vizsgálatokat csak a felvételezési költség terheli. DOLINKA fritlégy vizsgálata ORABY két latin téglá és négy sorsolt blokk elrendezésű martonvásári kukoricakísérletében jó példa erre [ORABY — DOLINKA (1968)]. Természetesen minden parcellára vonatkozólag legalább egy adatot kell vennünk éppen úgy, mint ahogy a termésre vonatkozólag tesszük. Még jobb azonban, hogyha parcellánként 2, vagy annál több, esetleg *egyedileg mért* adatunk van. Genetikai kísérleteknél különösen fontos, hogy a parcellán belüli, ill. egyedi variancia becsülhető legyen. A fitopatológus természetesen csak olyan szántóföldi kísérletben talál adatot, amelyben fertőzés tapasztalható. Ilyenkor több eset lehetséges.

1. A patológus számára az észlelt adat ugyanaz, mint a mezőgazdasági kutató számára a terméshozam adata. Vagyis a mezőgazdának a termés, a patológusnak az infekció mértéke és minősége az a függő változó, amely a kísérletezőtől irányított különböző független kezelés-faktorok függvénye. Ilyenkor a fertőzöttség, mint önálló tulajdonság, analizálható.

2. Egyedül a terméshozamot tekintjük függő változónak, amely különböző egyéb okok (faktorok) mellett a fertőzöttségnek, mint független változónak függvénye. Ilyenkor a fertőzöttség „konkomitáns” (kísérő) tényezőként nyújt információt a terméshozamra, annak kialakulására, vagyis a fertőzöttség a termés-komponensek rendszerében az egyik változó.

3. A fertőzöttséget nem tekintjük „statikus” változónak, mint a termést, hanem a tenyészedő folyamán változó „dinamikus” (időbeli) jelenségnek, ennél fogva hasonló bánásmódot igényel, mint a meteorológiai tényezők.

C) Ha pénzünk elég, akkor külön, sajátos kísérlet állítható be rezisztencia-vizsgálatokra. Ilyen kukoricakísérletet állított be MANNINGER 1960-ban rostos üszög (*Sorosporium*) vizsgálatára [MANNINGER (1962)]. Vagy gondoljunk a Fajtakísérleti Intézet provokációs kísérleteire [KAPÁS — HINFNER (1966)].

Polifaktoriális kísérletek

Bár a fajtakísérletek monofaktoriális elrendezései is számos információt nyújthatnak megfelelő természetes fertőzés esetén a fitopatológusnak, mégis a rezisztencia-vizsgálatok igazi területe a polifaktoriális kísérlet. Faktoriális kísérletek alatt azokat a polifaktoriális kísérleteket értem, amelyeknél a kezelés-faktoroknak valamennyi lehetséges szintkombinációjával irányítjuk a környezet változékonyságát. Például MANNINGER 1960. évi *Sorosporium*-kísérletében 4 elismert hibrid, 4 vetésideő és 4 különböző egyéb kezelés összesen

$4^3 = 64$ kezelés-kombinációja szerepelt [MANNINGER (1962)]. A polifaktoriális elrendezések hazánkban mindinkább terjednek, miután beállításukat és analízisüket magyarul is ismerteti néhány cikk, fordítás és SVÁB (1967) könyve.

Figyelemre méltó kísérleti faktorok

a) *Vetésidő*. Ha a rezisztencia-vizsgálatokat úgy tekintjük, mint a kórokozó, ill. a gazdanövény egymással kapcsolatban levő, de mégis önálló és különböző fenoökológiájának tanulmányozását, akkor ennek az időben, a külső, változó körülmények hatására változó jelenségnek legjobb vizsgálati lehetőségeit a vetésidő-kísérletek, ill. ezen túlmenően az ún. „szakaszos vetések” nyújtják. MANNINGER idézett 1960. évi kísérletében is a vetésidő befolyásolta leginkább a *Sorosporium*-infekció mértékét [MANNINGER (1962)]. A Fajtakísérleti Intézet, KAPÁS és HINFNER (1966) közlése szerint 1964 óta alkalmazza a szakaszos vetést tordasi provokációs kísérletében. MÁNDY (1967), aki disszertációjában a kultúrnövények fenoökológiájával foglalkozott, a szakaszos vetések előnyeit a következőkben adja meg:

- ugyanazon körülmények (talaj, elővetemény, biológiailag azonos vetőmag, művelési mód stb.) között észlel;
- az időjárási tényezőket függetleníteni az egyéb körülmények hatásától;
- szükség van a kedvezőtlen körülmények hatásának vizsgálatára is és ezért a vetéseket a természetes lehetőségek határáig kell folytatni, még akkor is, ha ezek a termesztési gyakorlat szempontjából irreális időszakba esnének.

Mindezek alapján MÁNDY (1967) azt állítja, hogy a szakaszos vetések ökológiai vonatkozásban a legértékesebbek és itt lehet a legkisebb kísérleti hibára számítani. — További előnyei a szakaszos vetésnek, hogy lehetőséget nyújtanak az abból *változó körülmények között* nyert adatok statisztikai analízisére, azaz bizonyos növekedési és időjárási paraméterek szétválasztására és becslésére, amint ezt GLENDAY (1955, 1959) kidolgozta, magam növekedési vizsgálatoknál alkalmaztam [O'SVÁTH (1967)].

b) A vetésidőn kívül a többi, kutató által irányított olyan tényező, mint pl. a *tápanyagellátottság*, az *ápolás és vegyszerezés*, a *növénytűrsűrűség* stb. olyan tényezők, amelyekkel a kísérleti kultúrában álló gazdanövény környezetét, *mikroklímáját* parcelláról parcellára meg lehet változtatni, sokszor igen jelentős mértékben. Ezzel a vizsgálatok általánosíthatóságát, reprezentációs erejét nagymértékben ki lehet terjeszteni.

c) Külön csoportot alkotnak a kezelés-faktorok között a *fungicid*-ek, amelyek jelentősége rezisztencia vizsgálatoknál a minden lehetséges kombinációt tartalmazó faktoriális kísérletek önálló beállítását is indokolja [MILLS (1959)].

Ha kiválasztottuk a megfelelő kísérletet, a felvételezés (bonitálás) és a feldolgozás (numerikus analízis) előírásánál néhány, a rezisztencia vizsgálatok sajátosságaiból eredő szempontot tanácsos figyelembe venni.

Bonitálás

A termés folytonos mennyiségi változó, amit méréssel jellemzünk. A fertőzöttséget legtöbbször nem lehet mérni. A fertőzöttség felvételezése abból áll, hogy megszámláljuk a fertőzött és az egészséges növények számát. Ez az eljárás rendszerint túl durva, ugyanis a fertőzött növények a betegség különböző mértékét mutatják, amelynek megkülönböztetése a patológus szempontjából nem közömbös. A fertőzött növényeken belüli megkülönböztetés módja a bonitálás.

A bonitálás osztálybasorolás: az osztályokat számokkal, betűkkel és más szimbólumokkal szokás megkülönböztetni. A statisztikai analízis szempontjából a számjegyekkel való bonitálás előnyösebb. A bonitálási osztályok jelentését és számát rendkívül sokféleképpen írhatjuk elő. A választás mégis nem tetszőleges. Elsősorban a bonitálás tárgyának jellege dönti el az osztályok számát. HAYES—IMMER—SMITH (1955) könyvében találunk 2, 3, 5, 6, . . . stb. osztályt különböző esetekre: a nemeket két osztály, a rezisztens és fogékony növényeket 3 (egy átmeneti intermedier osztállyal) vagy több osztály (több átmenettel) egészen 6-ig különbözteti meg. KIRÁLY a: „Növényvédelem kézikönyvében” (UBRIZSY, 1965) 0—5 fokozatot ír le átmeneti típusoknak is fenntartva lehetőségeket. A FAO 1962. évi jelentése 0—9-ig terjedő osztályozást használ, amely spektrummal célszerűen kimerítjük a lyukkártyák kapacitását. 0-val a *nem vizsgált* esetet jelzik. Az 1—9 közötti számok a teljes rezisztensztől a rendkívül fogékonyig átmeneteket tartalmaznak: 5-ös jelenti a közepesen fogékonyat. Az 5 körül a számok 1-től 9-ig szimmetrikusan helyezkednek el. Ha megfigyeléseinket tovább akarjuk finomítani, akkor figyelembe vesszük a páratlan számokat: 1, 3, 5, 7, 9. Még további részletezést jelent, ha ehhez még a köztük levő átmenetek jelzésére a 2, 4, 6, 8 páros számokat is be vesszük. Az ilyen bonitálási beosztások célszerűen alkalmazhatók minden polifaktoriális okoktól befolyásolt olyan betegség leírására, amely mérhető volna ugyan, de inkább a vizsgálat körét (az esetek számát) terjesztjük ki az egyes eset leírásának minuciózus pontossága helyett.

Abban az esetben, ha a leírandó betegség nem jellemezhető egyetlen változóval, a bonitálás is bonyolultabbá válik. Ez a gyakoribb helyzet. A betegség megjelenése különböző formakombinációkban lehetséges, különböző testrészek betegedése külön tartandó nyilván. Például a fertőzöttség mértékével változik a csövön és a címeren megbetegedett növények aránya [MANNINGER (1962)]. Golyvás üszögnél rendkívül jelentős az a körülmény, hogy mely növényrészek betegedtek meg. Ilyen esetben a bonitálás előírásánál különösen vigyázni kell, különben utólag az értékelésnél merülnek fel nehézségek.

HAYES—IMMER—SMITH (1955) jár el egzaktan, amikor a Pucciniát a foltok nagyságának, valamint azok gyakoriságának külön-külön figyelembevételével, azok összes kombinációira alkot bonitálási skálát. Ilyen bonyolult, többváltozós bonitálási formánál a felvételezőnek sablont kell használnia értékelésénél. A legújabb STEWART—RĂDULESCU—NEGULESCU (1967) által közölt osztályozási mód (a rozsdára vonatkozólag) két változót vesz figyelembe: az egyik változó (severity) a fertőzés %-os mértéke (vagyis a beteg növények aránya, az előfordulás gyakorisága), a másik változó a betegség súlyossága (response). Az utóbbit, a %-tól való megkülönböztetés végett *betűkkel* jelzi, e folytonos változót 8 osztályba sorolva. Minden esetben e két változó együttesen jelzi a bonitálás eredményét, pl.: 5 MR — 15 S = a fertőzöttség mértéke növényről növényre változik 5% közepesen reziszténstől 15% fogékonyig.

BOŠKOVIČ (1968) a betegség súlyosságának betűjelzéseit számokká (%) alakította és ezeknek gyakoriságukkal való szorzatát az *infekció koefficiens*-nek nevezi. DOLINKA az 1967. évi bécsi 6. Nemzetközi Növényvédelmi Szimpóziumon formulát mutatott be, amellyel fritlégy bonitálási értékeit átalakította, azokat szintén súlyozva gyakoriságukkal. Bonitálási értékeit azonban különböző intervallumúaknak (0, 0,2, 1, 5 súlyok) vette [ORABY—DOLINKA (1968)]. Ez transzformációval egyértelmű, kérdés, hogy egy ilyen manipulációval mi a célunk és azt elértük-e.

Sokszor fontos összehasonlítani a fajták különböző kísérleti állomásokon és éveken tapasztalt reakcióit. Ehhez az szükséges, hogy a különböző helyeknek és éveknél összehasonlítási alapjuk legyen. Évjáratonként és helyenként a fertőzöttség nagyon különböző, pl. KAPÁS és HINFNER (1966) 6 évi kísérleti eredményei szerint a rostosüszög-fertőzöttség 9 és 32% között mozgott. Ezért nem elég, ha az adott kísérlet legfertőzöttebb parcelláját jelöljük a legnagyobb bonitálási értékkel és a többi fokozatokat ezen belül osztjuk fel. Az is meggondolandó ilyenkor, hogy a fertőzöttség gyakoriságát az évenként és helyenként változó átlag %-ában fejezzük-e ki. Törekedni kellene arra, hogy az adatokban (bonitálási értékekben) az *abszolút és ne csak a relatív értékek* realizálódjanak. *Szükséges volna az egyes betegségek bonitálási rendszerének kidolgozása és ajánlólag publikálása.* Addig is a fő szempont: mérjük (és ne bonitáljuk) ami mérhető.

Feldolgozás

Mivel a rezisztencia-adatok nem tekinthetők legtöbbször mért, mennyiségi változónak, az adatok analízisének óvatosságnak kell lennünk. A varianciaanalízis előtt itt minden esetben meg kell vizsgálni, hogy

- additivek-e a hatások (Tukey-teszt)
- homogének-e a varianciák (Bartlett-teszt)
- normális-e az eloszlás (a maradék-variancia normalitási tesztje).

Csak akkor végezzünk variancia-analízist, ha a fenti kérdésekre a tesztek igenlően válaszolnak, illetőleg addig kell transzformáció után keresni, míg a transzformált adatokra vonatkozólag a fenti feltételek nem teljesülnek. Az analízist ilyenkor természetesen a transzformált adatokra végezzük és megállapításainkat arra vonatkoztatjuk [SNEDECOR (1957)].

A transzformáció kiválasztásához rajzoljuk fel az $\bar{x}$, s^2 pontokat egy olyan grafikonra, amelynek egyik tengelyére a kezelés-átlagokat ($\bar{x}$), a másikkra a kezeléseken belüli varianciát (s^2) mérjük fel. Ha a pontok tendenciája

gyengén emelkedő, akkor	a transzformáció $\sqrt{x}$, $\sqrt{x+1}$
erősebben emelkedő, akkor	a transzformáció $\log x$
maximummal bíró görbe, akkor	a transzformáció $\arcsin \sqrt{x}$.

Ha a tendencia más volna, akkor más olyan megfelelő transzformációt kell keresni, amelynél a pontok (a véletlen ingadozástól eltekintve) egy, az $\bar{x}$ -tengellyel közelítőleg párhuzamos egyenes mentén helyezkednek el. Ha ez nem sikerül, akkor valamelyik nem-paraméteres módszerhez kell folyamodni. Snedecor χ^2 -módszerre ad példát. A nem-paraméteres módszerek közül legtöbbször a Wilcoxon-rang-tesztjét alkalmazzák.

Hogy az analízisnél várható fenti nehézségeket megelőzzük, rendkívül fontos, hogy már tervezésnél olyan kísérleti előírásokat kövessünk, amelynél annak valószínűsége, hogy a felvételnél az egyes parcellára eső rezisztencia-érték pontosan nulla legyen, kicsi. Ezért is fontos a parcellán belüli nagy egyedszám felvételezése, amit csak egy jól besúlykolható bonitálási módszer tesz lehetővé.

Hangsúlyozni kell, hogy a fenti óvatosságra csak akkor van szükség, ha az analízisben a rezisztencia mint önálló függő változó szerepel. Ha a rezisztencia nem valószínűségi változó, hanem mint „konkomitáns” tényező, csak egyik „okozati” változója a termésnek, akkor a *kovariancia analízis* minden további nélkül elvégezhető.

Automatizáció és dokumentálás

Ha a fitopatológusnak sikerült együttműködést teremtenie a kísérletezésre vonatkozólag a mezőgazdasági, agrometeorológiai, hidrológiai és pedológiai kutatókkal, akkor az adatok analízisének komoly nehézségek fognak mutatkozni. A numerikus adatfeldolgozás munkáját TOMCSÁNYI (1966) ugyan mintegy 10%-ra becsüli, de ilyen komplex adatfeldolgozás hatványozottan növekvő feldolgozási munkát igényel. Megoldás: a numerikus, rutinszerű számítást automatizálni kell. Szántóföldi kísérletek analízisére külföldön a mezőgazdasági kutatók a nagy sebességű elektronikus számológépeket széles körben felhasználják, az NDK-ban pl. egy ZRA-1 típusú számolóautomata

áll a mezőgazdasági kutatás szolgálatában, amely sorsolt blokk, latin négyzet, split plot, rácselrendezések analizésére kidolgozott programokkal rendelkezik.

Kétségtelen, hogy az automatizáció visszahat a jövő kísérletezésére. Előreláthatólag tipizált elrendezések beállítása lesz csak célszerű. A fitopatológusnak gondolnia kell arra, hogy ebben a munkában megtalálja időben a helyét. Az automatizáció lehetségessé teszi még komplexebb vizsgálatok tervezését, mert a feldolgozás munkája akadályt nem fog jelenteni. Az automatizáció visszahat a probléma felvetéséig, a gondolkodásmód megváltozásáig.

Az automatizáció lyukkártyák, lyukszalagok és más médiumok alkalmazását igényli, ami lehetővé teszi az időben és térben különböző kísérletek adatainak tárolását és dokumentálását (Archívum). Fitopatológiai vizsgálatoknál ennek jelentősége igen nagy. Az egyes szabadföldi növénytermesztési kísérlet önmagában véve rendkívül szűk körű reprezentációs erejű. De jelentőssé válik a sok, önmagában véve esetleges kísérlet, ha egységes értékelési rendszernek vetjük alá. Ehhez azonban még egy egységes, abszolút értékeket realizáló bonitálási rendszerre is szükség van.

IRODALOM

- — — (1963): „World catalogue of genetic stocks. Wheat” Suppl. No. 9. FAO
- BOŠKOVIC, M. (1968): „Investigation of sources of resistance of leaf rust of wheat” Inst. Agric. Res., Novi Sad, Yugoslavia, Ann. Rep. No. 1.
- GLENDAY, A. C. (1955): „The mathematical separation of plant and weather effects in field growth studies” Austr. J. Agric. Res., Melbourne, 6, 813—822.
- GLENDAY, A. C. (1959): „Mathematical analysis of growth curves replicated in time” N. Z. J. Agric. Res., 2, 297.
- HAYES, H. K.—IMMER, F. R.—SMITH, D. C. (1955): „Methods of plant breeding” McGraw-Hill, New York, 2nd ed.
- KAPÁS S.—HINFNER K. (1966): „Kukoricahibridek rostos üszőggel szembeni rezisztenciája, fogékonysága és a fertőzés vizsgálata az időjárási tényezők összefüggésében” OMFTMI kiadványa, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 131—165
- MANNINGER I. (1962): „Rostos üszög-megbetegedés néhány összefüggése agrotechnikai tényezőkkel” in I'SO I. (szerk.): „Kukoricatermesztési kísérletek 1958—1960” Akadémiai Kiadó, Budapest
- MÁNDY GY. (1967): „Kultúrnövényeink fenoökológiai vizsgálata” Akadémiai doktori értekezés, Tápiószéle, Kézirat.
- MILLS, W. D. (1959): „Evaluation of fungicides in the field” in HOLTON, C. S. et alia (ed.): „Plant pathology, problems and progress, 1908—1958” Univ. of Wisconsin Press, Madison
- ORABY, F. T.—DOLINKA, B. (1968): „Különböző citoplazmáson hímsteril donorkok és a kukorica fritlégy rezisztenciája” in KOVÁCS I. (szerk.): „Some methodological results of the Hungarian maize breeding” Akadémiai Kiadó, Budapest (in press).
- O'SVÁTH J. (1967): „Agrarmeteorologische Untersuchungen im Feldversuch”. Előadás a Karl Marx Universität által rendezett Agrarmeteorologisches Symposium-on, szept. 22., Leipzig (in press).
- SNEDECOR, G. W. (1957): „Statistical methods” Iowa State College Press, Ames, Iowa, 5. ed. rep.
- STEWART, D. M.—RĂDULESCU, E.—NEGULESCU, FL. (1967): „Reactions of adult wheats to stripe, leaf, and stem rusts in Rumania” Plant disease reporter, 51, 5: 362—366.
- SVÁB J. (1967): „Biológiai módszerek a mezőgazdasági kutatásban” Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- TOMCSÁNYI P. (1966): „A kutatói ismeretgazdálkodás és kézi lyukkártya technikája” OMgK Közleményei, 8,
- UBRIZS Y G. (szerk., 1965): „Növénykórtan” Akadémiai Kiadó, Budapest, 2. kiadás.