

Statistical control charts in the animal production

S. Á. Nagy¹
D. Tózsér¹
G. Szombath¹
D. Baranyi¹
T. Reibling²
I. Biksi³
N. Solymosi^{4*}

1. Állatorvostudományi Egyetem,
5. évfolyamos hallgató

*e-mail: solymosi.norbert@univet.hu

2. Duna-hyb Kft.,
Szekszárd, Páskum u. 5.

3. Állatorvostudományi Egyetem,
Haszonállatgyógyászati Tanszék
és Klinika

4. Állatorvostudományi Egyetem,
Biometeorológiai Kutatócsoport,
H-1078 Budapest, István u. 2.

Statisztikai ellenőrző diagramok az állattermék-előállításban

Nagy Sára Ágnes¹, Tózsér Dóra¹, Szombath Gergely¹, Baranyi Dániel¹, Reibling Tamás², Biksi Imre³, Solymosi Norbert^{4*}

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők jelen tanulmányukban egy példán keresztül mutatják be az iparban és az agráriumban széles körben alkalmazott statisztikai folyamatszabályozás alapvető eszközének, az ún. ellenőrző diagramoknak (control chart) létrehozásával, értelmezésével kapcsolatos fontosabb tudnivalókat. Információs társadalmunkban az információs technológiák, köztük az adatelemzési eljárások az élet minden területét átszövik. Az állattermék-előállítás folyamataiban is egyre nagyobb mennyiségű digitális adat képződik, amelyek csak kis mértékben alakulnak át szakmailag értelmezhető információvá. A bemutatott eszköz segítheti az adatok hasznosítását.

SUMMARY

Background: In our age, the information society, the computer based technologies, including the data analytical procedures are part of each sites of the life. In the production animal sector more and more data are generated day by day. Unfortunately, only a small piece of this huge amount of data is transformed to information, that can be interpreted, used by professionals in decisions.

Objectives: The present work demonstrates a relatively simple statistical approach that may help to improve the production, animal health and welfare measures in animal production sector.

Materials and methods: Since the 1920s in the industry sector the Statistical Process Control (SPC) is a widely used toolbox to help the producers to improve the efficiency and profitability of production processes. The components of the SPC toolbox are the „magnificent seven”: histogram, check sheet, pareto chart, cause-and-effect diagram, defect concentration diagram, scatter diagram, control chart. The last one (also called as Shewhart chart) is the most widely used tool of SPC. Through a case study on piglet weaning weight the authors summarizes the most important momentums of the creation and interpretation of the control charts. In the example a real world based simulated dataset was used to construct the control charts. Beside this a short review is presented to demonstrate control chart applications in animal production areas.

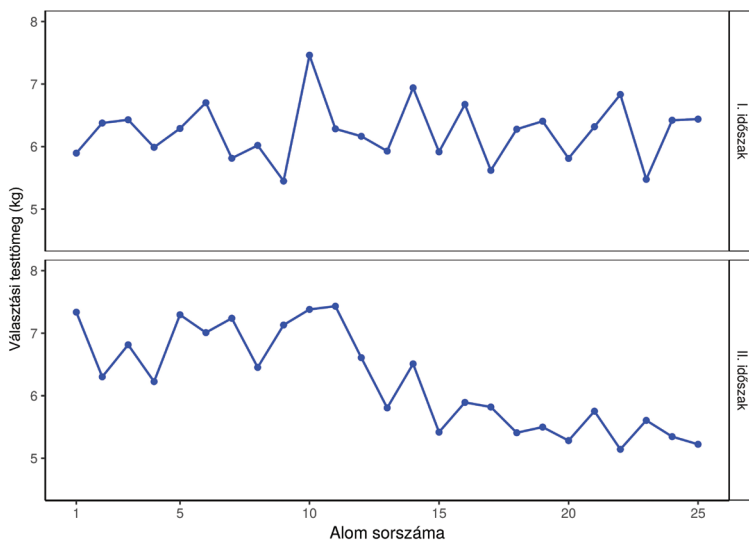
Results and Discussion: The presented case study helps the reader to understand how the statistical control charts can improve the surveillance of animal production and animal health. The authors emphasise that in the „big data” age it is necessary to develop the computational, data analytical skills of veterinarians working on farms, to be able to convert the accumulating raw data to professionally usable information.

ÁLLATTENYÉSZTÉS

Korunk információs társadalmának sajátosságai – csakúgy, mint életünk legtöbb területére – az állati termék előállítására, annak folyamatára is vonatkoznak. Az állatok egészségére, környezetére, termelésére vonatkozó adatok az információs technológiák terjedésével egyre gyarapodnak.

A telepen képződő adatok információvá alakításában adatfeldolgozási eszközökre, ill. készségekre van szüksége a döntéshozó szakembereknek

A haszonállattartó telepeken számos adatgyűjtési folyamat során halmozódnak a termelésre vonatkozó adatok (pl. telepírányító rendszerek). További nagy mennyiségű adatot generálnak a precíziós állattartási (*Precision Livestock Farming, PLF*) technológiák (10). Ezek mellett eseti adatgyűjtések [pl. mobil technológiákkal (18)] is szaporítják a termelésre, az állatok egészségére vonatkozó telepi adatokat. Ezzel együtt a felhalmozódó adatoknak még mindig csak töredéke alakul át olyan információvá, amely a gazdálkodó vagy az állatorvos döntéseit segítheti. Pedig az állományok méretének növekedésével, a rendszerek bonyolultságának fokozódásával az állatorvosok, termelők hagyományos, személyes információszerzése már nem kivitelezhető időben (10, 13). Így a telepen képződő adatok információvá alakításában adatfeldolgozási eszközökre, ill. készségekre van szüksége a döntéshozó szakembereknek. A termelési folyamat mutatóinak értékelése során leginkább valamely időszakra vonatkozó jellemző értéket szoktak figyelembe venni a mindennapokban. Ez a jellemző érték statisztikai szóhasználattal valamilyen tesztstatisztika, vagy egyszerűbben fogalmazva: statisztika. A közérthetőség kedvéért tesztstatisztika pl. valamilyen mennyiségből számított átlag. Azonban fontos látni, hogy egy ilyen érték nem teszi lehetővé, hogy betekintést nyerjünk arra vonatkozóan, hogy a vizsgált időszakban az adott mérték milyen változatosságot mutatott. Például, ha méri a malacok választáskori testtömegét, akkor kiszámolható ennek vizsgált időszakbeli átlaga. De ez az átlagos választási testtömeg nem mond semmit az almonkénti (vagy hetenkénti) változásokról. Persze e mellé az átlagos érték mellé hozzátehetjük a testtömegek szórását, varianciáját is. Azonban még ekkor sem látjuk, hogy megfigyelhető-e változás a testtömegben mintáról mintára, alomról alomra. Ráadásul – ahogy az **1. ábrán** is látható – teljesen eltérő tendenciájú mérési adatok mellett is adódhatnak azonos átlagok és szórások. Az 1. ábrán látható két időszakban a malacok választási testtömegének átlaga (6,24 kg) és szórása (1,28 kg) megegyező, annak ellenére, hogy szemmel is könnyen észrevehető az egyes almok átlagának variabilitásbeli eltérése. Míg az I. időszakban az átlagos testtömeg a 6,24 kg körül mozog, addig a II. időszak második felében jelentősen csökken és a teljes időszakra vonatkozó átlag alatt mozog.



1. ÁBRA. Malacok választáskori testtömegének almonkénti átlaga két időszakban. Az alom sorszáma időbeli sorrendet jelöl. Annak ellenére, hogy a görbék lefutása egyértelműen eltér, a testsúlyok átlaga és szórása (6.24 ± 1.28 kg) a két időszakban azonos

FIGURE 1. Average weights of weaned piglets per pen for two different time periods. The litter id presents the time order. Despite of the distinct runs of curves the means and standard deviations (6.24 ± 1.28 kg) in both periods are identical

A termelési folyamatok más területein (pl. az iparban) az 1920-as évektől elterjedt egy olyan egyszerű matematikai statisztikai eszköztár, amely könnyen vizsgálhatóvá teszi a fontosnak tekintett termelési mutatók időbeli változását. Ezáltal az optimálisnak vagy megszokottnak tekinthető termelési folyamatától való eltérés korán azonosítható. Aminek eredményeként korábban lehet beavatkozni, a folyamat eltéréseinek súlyosabbá válása előtt, így csökkentendő a gazdasági veszteségeket.

A termelési mutatók időbeli változásának követését és az arra épülő beavatkozások, korrekciók összességét statisztikai folyamat-szabályozásnak nevezik

A termelési folyamatoknak ezt a típusú értékelését és az arra épülő beavatkozások, korrekciók összességét statisztikai folyamatszabályozásnak (*statistical process control, SPC*) nevezik. Az SPC szakirodalmában számos eszköz jelenik meg a folyamatok ellenőrzésére, szabályozására. Ezek közül a legismertebb az ún. ellenőrző diagram (*control chart, Shewhart-chart*). Az ellenőrző diagramot a magyar szakirodalomban sokszor ellenőrző kártyának nevezik, mi azonban itt a „kártya” helyett a kevésbé félreérthető „diagram” kifejezést használjuk.

Az ellenőrző diagramokat az állattartásban, állattermék-előállításban, az állatok egészségével, szaporodásbiológiájával kapcsolatban széles körben alkalmazzák (5, 6, 8, 13, 15, 16). Az alábbiakban az ellenőrző diagramok értelmezésével kapcsolatos legfontosabb mozzanatokat egy példán keresztül mutatjuk be.

ELLENŐRZŐ DIAGRAMOK

A termelési folyamatok követésére különböző, a vizsgált folyamat értékelése szempontjából fontosnak tekintett paramétereket, mértékeket (pl. választási testtömeg, választásig elhullott malacok részaránya) használunk. Minden ilyen paraméter valamilyen mértékű változékonyságot mutat, ami azt jelenti, hogy az egyes időpontokra, időszakokra vonatkozó paraméterértékek eltérnek a célértéktől és egymástól.

A vizsgált paraméterértékek változékonyságának két oka lehet:

- a véletlen és
- az ún. azonosítható ok

A paraméterértékekben tapasztalható változékonyságnak két oka lehet (14): az egyik a véletlen (*chance causes of variation*), a másik az ún. azonosítható ok (*assignable causes of variation*). A termelés szabályozásának, ellenőrzésének fő célja, hogy az optimális célértéket biztosítsa, és a változékonyságot csökkentse. A véletlenből eredő variabilitással nem tudunk mit kezdeni. Azonban az azonosítható okok (pl. takarmányozási, tartási anomáliák) folytán adódó variabilitás csökkentése megvalósítható.

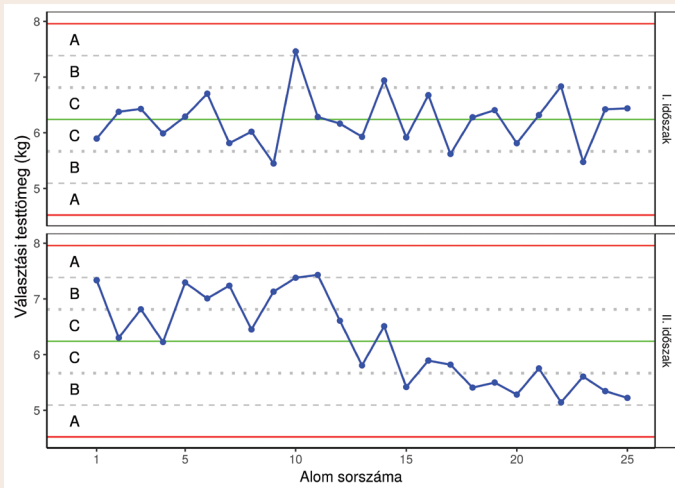
Annak eldöntése, hogy a célértéktől való eltérésnek milyen mértékénél kell beavatkozni, nem egyszerű feladat (16). Ebben használhatunk különböző szakirodalmi, tapasztalati viszonyítási értékeket (*benchmarks*). Ennek a megközelítésnek jogos kritikája, hogy legtöbb esetben a saját állományunktól (pl. fajta, takarmányozás, technológia vonatkozásában) eltérő állományból származó viszonyszámok állnak rendelkezésre.

Az ellenőrző diagramokon a célértéket jelző vízszintes egyenes mellett figyelmeztetési és cselekvési határértékeket jelző egyeneseket helyezünk el

Egy másik megközelítésben a saját állományunk termelési adatai alapján hozunk létre olyan viszonyítási értékeket, amelyek alapján a termelés folyamatát ellenőrizhetjük. Az ellenőrző diagramok ebben a típusú folyamatellenőrzésben nyújtanak segítséget. Az ellenőrző diagramok létrehozása során egy (saját véleményünk szerint) stabil időszakból származó paraméterértékeket gyűjtünk ki a rögzített adatainkból. Általános gyakorlat (14), hogy 25 csoportból, időpontból, időszakból (alcsoport, *subgroup*) származó adatot használunk. Ezek alapján kiszámoljuk, hogy az adott időszakra milyen középérték (célérték) volt jellemző, ill. emellett azt is, hogy az ettől való eltérések milyen mértékűek. Ez utóbbit az ún. szigma (*sigma*) értékkel adjuk meg. Az ellenőrző diagramra a célértéket jelző vízszintes egyenes mellett figyelmeztetési és cselekvési határértékeket jelző egyeneseket helyezünk el (2. ábra).

A figyelmeztetési határokat a célértéktől számítva egy, ill. két szigma távolságban húzzuk meg (a 2. ábrán szürke pontozott, ill. szaggatott egyenes). A cselekvési határt jelző egyeneseket pedig a célértéktől számítva három szigma

(three sigma) távolságra (a 2. ábrán piros egyenes). Az ellenőrzési határok zónákat hoznak létre, az A-zóna a két és három szigma, a B-zóna az egy és két szigma, a C-zóna pedig a célérték és az egy szigma távolság közti tartományt jelenti (2. ábra).



2. ÁBRA. Malacok választáskori testtömegének almonkénti átlaga két időszakban. Az alom sorszáma időbeli sorrendet jelöl. A zöld egyenes a célértéket, a szürke és piros egyenes az ellenőrzési határokat jelöli. A célértéktől egy, ill. két szigma távolságban lévő szürke egyeneseket figyelmeztetési határnak nevezik. A célértéktől három szigma távolságban lévő piros egyenest cselekvési határnak is nevezik

FIGURE 2. Average weights of weaned piglets per pen for two different time periods. The litter id presents the time order. The green line is the target value, the grey and red lines are the control limits. The grey lines at one- and two-sigma from the target value are the warning limits. The red lines at three-sigma distance are the action limits

Az ellenőrző diagramok létrehozásának és felhasználásának két fázisát szokás megkülönböztetni. Az I. fázisban az előzőekben leírtak szerint egy megelőző, stabilnak tekinthető periódus (az 1. és 2. ábra I. időszaka) alapján létrehozuk a diagramot. A II. fázisban pedig az aktuális termelési folyamat paraméterértékeit ábrázoljuk rajta, az adatképződés valós idejében. Ez utóbbi fázisban az ellenőrzési határok és zónák olyan támpontokat adnak a termelési folyamat értékeléséhez, amelyek segítségével az elvárt teljesítménytől való eltérést korán észlelhetjük, így ha az eltérés okát korábban azonosíthatjuk, ill. kezelhetjük, akkor csökkenthetjük a gazdasági veszteséget.

Az SPC csaknem száz éves története során először az iparban (14) hoztak létre olyan szabályokat, amelyek segítik az ellenőrző diagram mintázatának értékelését. Ugyanezeket a szabályokat használják az állattermék-előállítás folyamatainak ellenőrzésében (6, 15).

Az alábbi négy szabályban bemutatott mintázatbeli változások arra utalnak, hogy a folyamat kikerülhetett az ellenőrzésünk alól, így indokolt lehet valamely kiváltó ok azonosítása:

1. Egy pont kívül esik a három szigma határon.
2. Három egymást követő pont közül kettő kívül esik a két szigma figyelmeztetési határon.
3. Öt egymást követő pont közül négy egy szigma távolságban vagy azon túl helyezkedik el.
4. Nyolc egymást követő pont a középvonal egyik oldalán helyeződik el.

A 2. ábrán bemutatott példánkban, a II. időszakban a 3. és a 4. szabályban megfogalmazott eltéréseket láthatjuk. Így feltételezhető, hogy a malacok választási testtömegében bekövetkezett változás nem tulajdonítható tisztán a véletlennek, természetes biológiai változékonyságnak, hanem valamilyen azonosítható ok is állhat a háttérben. Anélkül, hogy a matematikai statisztikai részletekben elmerülnénk, meg kell jegyezni, hogy az ellenőrző diagramok alapján bizonyos valószínűséggel téves következtetésre is juthatunk. A diagram alapján ugyanis gondolhatjuk azt, hogy a folyamat kézbentartott, holott kicsúszott már az ellenőrzésünk alól (téves negatív), ill. azt is, hogy kikerült a kezünk közül, pedig ez valójában nem történt meg (téves pozitív).

Bizonyos mintázatbeli változások arra utalnak, hogy a folyamat kikerülhetett az ellenőrzésünk alól

A fenti négy szabály egyes folyamatokban nem megfelelő érzékenységű, így alkalmazásukkal nem azonosíthatjuk a folyamat eltéréseit. A diagramok „érzékenyebbé” tétele céljából esetenként további szabályokat használnak:

5. Hat egymást követő pont folyamatosan növekvő vagy csökkenő tendenciát mutat.

6. Tizenöt egymás utáni pont a C-zónában (a középvonal alatti és feletti).

7. Tizennégy egymás utáni pont váltakozva a középvonal alatt és felett helyezkedik el.

8. Nyolc pont, amely egyik oldali C-zónába sem esik.

9. A pontok szokatlan vagy nem véletlen mintázata.

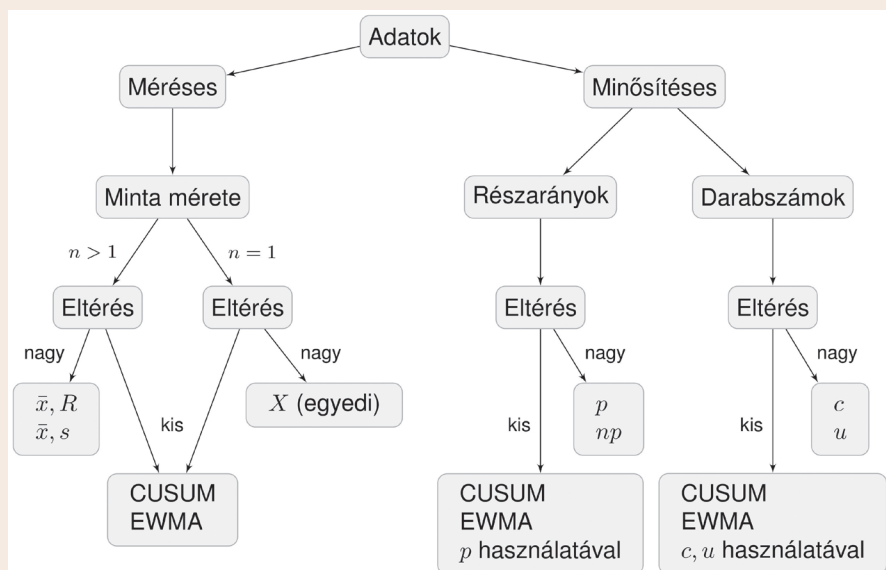
10. Egy vagy több pont közel a figyelmeztetési vagy cselekvési határhoz.

Az utóbbi hat érzékenyítő szabály bármelyikének alkalmazásával a diagram által jelzett téves pozitív események valószínűsége megnő, így gyakrabban kaphatunk „riasztást”, mint ahányszor a folyamat valóban azonosítható ok miatt tér el a céltől. Az SPC szakirodalmában ezért gyakran hangsúlyozzák, hogy az ellenőrző diagramok automatikus jelzéseit az adott esetnek megfelelően kell értékelni, és annak alapján ajánlott az okok azonosításába kezdeni (14).

AZ ELLENŐRZŐ DIAGRAM TÍPUSAI

Attól függően, hogy milyen típusú adatokat használunk a folyamat felügyeletében, különböző ellenőrző diagramokat alkalmazunk (3. ábra). A diagramoknak két fő csoportját különítjük el: méréses és minősítéses diagramok. A méréses diagramok esetén olyan adatok (*numerical measurement*) jelentik az elemzés forrását, amelyeket valamilyen módon számszerűen mértünk (pl. testtömeg, tejtermelés, takarmányfogyasztás, levegő-hőmérséklet). A termelési folyamatoknak vannak olyan mutatói, amelyek nem mérhetők számszerűen (*attributes data*) abban az értelemben, mint az előző esetben (pl. nem megfelelő teljesítményű egyedek száma, részaránya). A minősítéses diagramok esetén a termelési folyamat eredményét jelentő elemet (pl. egyed, alom) kétféleképpen minősíthetjük: lehet megfelelő (*conforming*) és nem megfelelő (*nonconforming*). Természetesen ennek eldöntésében szerepelhetnek ún. méréses adatok, azonban a minősítésüket tekintve csak a két kimeneti érték egyike rendelhető hozzájuk.

A diagramoknak két fő csoportját különítjük el: méréses és minősítéses diagramok



3. ÁBRA. Mikor melyik ellenőrző diagramot tanácsos használni? Az adatok típusától, az azonosítandó eltérések mértékétől függően más és más diagramot célszerű alkalmazni [MONTGOMERY (14) után]

FIGURE 3. What control chart is appropriate to use? Depending on data type and the deviations to be detected different control charts should be used [following MONTGOMERY (14)]

A méréses diagramok alkalmasak arra, hogy segítségükkel elemezzük a folyamat során vett minták átlagát, ill. változékonyságát

A minősítéses diagramoknak több típusát is használják az állatitermék-előállítás kapcsolatos szakirodalomban

A méréses diagramok alkalmasak arra, hogy segítségükkel elemezzük a folyamat során vett minták átlagát, ill. változékonyságát. A mért értékek átlagának vizsgálatára használjuk az ún. \bar{x} -diagramot, a 2. ábrán bemutatott példa is ilyen. Ezzel a diagrammal a minták közötti variabilitást tudjuk vizsgálni. A mintákon belüli variabilitást az ún. R - és s -diagramokkal ellenőrizhetjük. Baromfivágóhidakon a hasított testrészek mikrobiológiai felügyeletében mutatta be MATARAGAS és mtsai az \bar{x} - és R -diagram alkalmazhatóságát (12).

A minősítéses diagramoknak több típusát (3. ábra) is használják az állatitermék-előállítással kapcsolatos szakirodalomban. A p -diagrammal a nem megfelelő elemek részarányát (*control chart for fraction nonconforming*), a c -diagrammal a nem megfelelő elemek számát (*control chart for nonconformities*), az u -diagrammal pedig a nem megfelelő elemek egységenkénti (pl. almonként, légterenként) számát (*control chart for nonconformities per units*) ellenőrizhetjük. Az állatorvosi, állattartási, élelmiszer-biztonsági szakirodalomban leggyakrabban a p -diagramot használják. Ennek oka részben az, hogy míg a méréses diagramokhoz szükséges adatok korlátozottan állnak rendelkezésre a telepi körülmények között, a minősítéses adatok elérhetőek, könnyen létrehozhatóak. CORNOU és mtsai például szarvasmarhák vemhesülési arányának (4), GÜNEY és GÖKHAN pedig a sérült héjú tojások részarányának monitoringjában használta a p -diagramot (9).

Az eddig bemutatott Shewhart-diagramok megfelelő érzékenységgűek, ha a folyamateltérés 1,5–2 szigma nagyságú. Ennél kisebb eltolódást csak az érzékenyítő szabályokkal mutathatunk ki, amelyek viszont növelik a téves riasztások számát (14). A kisebb eltérések követésére további diagramtípusokat fejlesztettek. Az egyik ilyen a halmozódó összegek diagramja (*cumulative sum, CUSUM*), amely a célértéktől való eltéréseket összeadja, és az ezekből származtatott értékeket ábrázolja. Ilyen diagramot használtak sertésalomméreteket (1), fialási (2), ill. elhullási arányok felügyeletére (3). További, a kis eltérések vizsgálatában gyakrabban használt típus az exponenciálisan súlyozott mozgóátlag-diagram (*Exponentially Weighted Moving Average, EWMA*). Ezt a módszert használta von LEESEN és mtsai (19) szarvasmarhák progeszteronszintjének vizsgálatában, ill. LINHARES és mtsai PRRS-mentesítési program hatékonyságának ellenőrzésében (11). A statisztikai részleteket itt mellőzve a CUSUM-ról és az EWMA-ról érdemes megjegyezni, hogy a mintánkénti értékeket nem egymástól függetlenül értékelhetjük általuk, hanem a mintákban tapasztalt eltéréseket egymással összefüggésben. A 3. ábra segítséget nyújt az adott folyamat ellenőrzésében használandó diagramtípusok kiválasztásában.

Az állatitermék-előállítás területén 2010 előtt közölt ellenőrződiagram-alkalmazásokra vonatkozóan DE VRIES és RENEAU részletes irodalmi áttekintést nyújt az érdeklődő olvasó számára (6).

MEGVITATÁS

Az információs társadalom minden területén, így a haszonállattartásban is jelentős mennyiségű adat jön létre napról napra. Ennek a folyamatosan növekvő mennyiségű adatnak a kihasználtsága jelenleg alacsony szintű, annak ellenére, hogy a termelés, az állatok egészsége és jóléte szempontjából nagyon fontos információkat rejt magában. A bemutatott ellenőrző diagramok hasznos eszközök az állatitermék-előállítás termelési folyamatainak felügyeletében. A létrehozásukhoz szükséges adatok számos fontos termelés-ellenőrzési paraméterre vonatkozóan rendelkezésre állnak a telepírányító rendszerek adatbázisában. A hazai telepírányító rendszerek nem tartalmazzák jelenleg az SPC-hez szükséges modulokat, így a telepeken meglévő adatok elemzéséhez egyéb, rugalmas adatelemzésre alkalmas szoftverre van szükség. Az R-nyelv és -környezet erre alkalmas, ingyenesen felhasználható eszköz (7, 17).

A bemutatott ellenőrző diagramok hasznos eszközök az állatitermék-előállítás termelési folyamatainak felügyeletében

Mivel az egyetemi hallgatók (a jövő állatorvosai) életét keresztül-kasul szövi az informatika, remélhető, hogy az ő készségeikkel, naprakész tudásukkal a telepeken már megjelenhet az adatelemzés, feldolgozás gyakorlata. Az alkalmazott statisztika számos területén igaz, hogy a legjobb, ha a szakmai kérdést felvető személy végzi az elemzéseket, ill. értelmezi azok eredményeit. Így az állatorvosi ismereteken alapuló kérdésfeltevést követően az állatorvos önmaga tudja ezeket az egyszerű elemzéseket elvégezni, majd pedig (ugyancsak orvosi ismeretei alapján) értelmezni az eredményeket. Szakmánk helyzetének erősítése érdekében is jó lenne, ha a telepen dolgozó szakemberek közül az állatorvos lenne az a személy, aki ezt a feladatkört is ellátja.

Az Állatorvostudományi Egyetem 2016/2017. tanév őszi félévében egy fakultatív tantárgy keretében az R-nyelv és eredeti telepi adatbázisok használatával sajátították el hallgatók a fent bemutatott ellenőrző diagramok létrehozását, értelmezését. Ami azt jelentheti, hogy diákjaink – de legalábbis egy részük – nyitottak az ezirányú képzésre, és rendelkeznek azokkal a készségekkel, amelyek szükségesek valós szakmai kérdések megválaszolását célzó adatelemzések kivitelezéséhez. Az állatorvosképzésben a hallgatók ilyen irányú, gyakorlati képzésének igen nagy jelentősége lenne. Különben egy a XXI. században központi feladatkörből csúszhatnak ki a jelen és jövő kollégái.

IRODALOM

1. BONO, C. – CORNOU, C. – KRISTENSEN, A. R.: Dynamic production monitoring in pig herds I: Modeling and monitoring litter size at herd and sow level. *Livest. Sci.*, 2012. 149. 289–300.
2. BONO, C. – CORNOU, C. et al.: Dynamic production monitoring in pig herds II. Modeling and monitoring farrowing rate at herd level. *Livest. Sci.*, 2013. 155. 92–102.
3. BONO, C. – CORNOU, C. et al.: Dynamic production monitoring in pig herds III. Modeling and monitoring mortality rate at herd level. *Livest. Sci.*, 2014. 168. 128–138.
4. CORNOU, C. – ØSTERGAARD, S. et al.: Dynamic monitoring of reproduction records for dairy cattle. *Comput. Electron. Agr.*, 2014. 109. 191–194.
5. DE VRIES, A.: *Statistical process control charts applied to dairy herd reproduction*. PhD thesis, University of Minnesota. 2001.
6. DE VRIES, A. – RENEAU, J. K.: Application of statistical process control charts to monitor changes in animal production systems. *J. Anim. Sci.*, 2010. 88. E11–E24.
7. DINYA E. – SOLYMOŠI N.: *Biometria a klinikumban 2. Feladatok megoldása R-környezetben*. Budapest: Medicina Könyvkiadó Zrt. 2016.
8. ENGLER, J. – TÖLLE, K. H. et al.: Control charts applied to individual sow farm analysis. IN Cox S. (szerk.): *Precision Livestock Farming '05*. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 2005. 319–325.
9. GÜNEY, M. C. – GÖKHAN, T. K.: Determination of egg shell quality with p control charts in poultry. *TURJAF.*, 2016. 4. 588–591.
10. KÖNYVES L. – REIBLING T. – BODOR A. – BRYDL E. – ADORJÁN A. – SOLYMOŠI N.: Egy precíziós állattartási projekt tapasztalatai. *Magy. Állatorvosok Lapja*, 2015. 137. 719–727.
11. LINHARES, D. C. L. – CANO, J. P. et al.: Comparison of time to PRRSV-stability and production losses between two exposure programs to control PRRSV in sow herds. *Prev. Vet. Med.*, 2014. 116. 111–119.
12. MATARAGAS, M. – DROSINOS, E. H. et al.: Integrating statistical process control to monitor and improve carcasses quality in a poultry slaughterhouse implementing a HACCP system. *Food Control*, 2012. 28. 205–211.
13. MERTENS, K. – DECUYPERE, E. et al.: Statistical control charts as a support tool for the management of livestock production. *J. Agr. Sci.*, 2011. 149. 369–384.
14. MONTGOMERY, D.: *Introduction to Statistical Quality Control*. 7th edition. John Wiley Sons. New York, USA, 2009.
15. MORRISON, R. B. – DIAL, G. D. et al.: Using Statistical Process Control to Investigate Reproductive Failure in Swine. In: YOUNGQUIST R. S. – THRELFALL W. R. (szerk.): *Current Therapy in Large Animal Theriogenology*. Saunders. St. Louis, USA, 2006. 821–826.
16. RADOSTITS, O.: *Herd Health: Food Animal Production Medicine*. W.B. Saunders. 2001.
17. SOLYMOŠI N.: *R<-...erre, erre...! (Bevezetés az R-nyelv és -környezet használatába)*. <http://cran.rproject.org/doc/contrib/Solymosi-Rj-egyzet.pdf>. 2005.
18. SOLYMOŠI N. – MAZZUCATO, M. et al.: VetEpiGIStool: járványos betegségek kontrollját segítő szabad felhasználású QGIS plugin. *Magy. Állatorvosok Lapja*, 2016. 138. 70.
19. VON LEESEN, R. – TETENS, J. et al.: Mathematical approaches to detect low concentrations in progesterone profiles. *Animal*, 2013. 7. 2008–2015.

Közlésre érk.: 2017. jan. 30.