

DOKTORI (PhD) TÉZISEK

MIKÉNÉ HEGEDŰS FRIDERIKA

Mosonmagyaróvár
2006

DOKTORI (PhD) TÉZISEK

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM

Mezőgazdaság és Élelmiszertudományi Kar
Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete

Precíziós növénytermesztési módszerek Doktori Iskola

Doktori Iskola vezető:

Dr. Kuroli Géza

egyetemi tanár, MTA doktora

Termőhelyspecifikus precíziós növénytermesztés műszaki
feltételrendszere program

Program és témavezető:

Dr. Neményi Miklós

egyetemi tanár, MTA doktora

**A fuzzy logika és a neurális hálók alkalmazása a
precíziós növénytermelés adatbázisának értékelésében**

Készítette:

MIKÉNE HEGEDŰS FRIDERIKA

Mosonmagyaróvár

2006

Bevezetés

A helyspecifikus és precíziós növénytermelés a táblán belül az adott helynek megfelelő, pontosan előírt technológiát és kezeléseket alkalmaz. A szántóföldeken belüli változékonyság kutatása és ezek alapján a döntés-előkészítés folyamata interdiszciplináris közelítést igényel. Magába foglalja a különböző területekről és erőforrásokból származó adatok gyűjtését, tárolását, továbbítását, elemzését és a döntési technikák kidolgozását. Ezeken a területeken jó együttműködő kutatás elvezet a változékonyság okainak jobb megértéséhez és kezeléséhez.

A termésmonitor a termelőknek közvetlen módszert adott a termés hozam térbeli változékonyságának mérésére. Az összegyűjtött termés adatok alapján készített hozamtérképek mutatják a különböző hozamú területeket, és gyökeresen megváltoztatták a döntéshozatal útját. A változékonyságot számos tényező okozza, beleértve a talaj típusát, a talaj fizika és kémiai tulajdonságait, a szántó föld helyzetét, a termesztés előzményeit, és a tápanyag hozzáférhetőségét. A talajtulajdonságok pontos térképezése kritikus eleme a sikeres helyspecifikus termelésnek. A talajminták száma meghatározó, és az interpolálási módszer, amellyel a diszkrét minta adatokat folytonos térképbe konvertáljuk, a talajtérképezés legfontosabb tényezői közé tartoznak.

A számítógépes háttér segítségével létrehozott térinformatikai adatbázis lehetővé teszi, hogy átfogó képet alakítsunk ki a vizsgált

mezőgazdasági területekről. A térbeli változékonyságot ismerve, az adott helyen megfelelő módon lehet beavatkozni. A kifejlesztett több tényezős modellek és becslési technikák alkalmazása lehetővé teszi a megalapozott döntések előkészítését. Így az elemző, előrejelzési eszközök és a termelési modellek a precíziós mezőgazdasági technológia lényeges elemei..

A kutatás célja a hozamtérképek bizonytalansági tényezőinek, hibáinak elemzése, kiszűrése, a vizsgált időszakban termesztett növények és talajjellemzők heterogenitásának, térbeli szerkezetének meghatározása. Ezek ismeretében a szerző kidolgozta a kiválasztott néhány fontosabb talajtulajdonság és a terméshozam közötti kapcsolatot leíró becslési modelleket.

Anyag és módszer

A szántóföldi kísérlet a Nemzeti Fejlesztési Kutatási Program keretében a Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének munkatársai irányításával 2001-ben indult.

A szántóföldi adatgyűjtés a NYME-MTK tangazdaságához tartozó 15,3 ha területű 80/1. számú tábláján történt a 2001 – 2005. közötti időszakban.

A precíziós gazdálkodás első szakasz azon információk összegyűjtése, amelyek meghatározzák a növény fejlődési feltételeit, elsősorban a talaj termőképességét meghatározó paraméterek.

A talaj jellemzésének kiindulópontja a szisztematikus rács alapján összeállított *helyspecifikus talajmintavétel* volt. A talajmintákat DGPS

navigációval, 50x50 m rács mentén, 63 kezelési egységben gyűjtötték, melyek átlagosan 0,25 ha nagyságúak voltak.

A gyűjtött talajmintákból teljes körű laboratóriumi elemzést végeztek. Azokat a talajtulajdonságokat vizsgáltuk részletesen, amelyek szükségesek voltak a kijuttatandó műtrágya adag megállapításához és terméshozammal való kapcsolat feltárásához.

A hozam monitorozásával a 2001. és 2005. közötti években gyűjtötték a terméshozam a szemnedvesség adatokat.

A hozam mérése Agromon ACT hozammérő rendszerrel, Deutz Fahr M 35.80 betakarítógépre szerelve történt. A kísérleti táblán 2001-2002. évben kukoricát, 2003-ban tavaszi árpát, 2004-ben őszi búzát és 2005. évben ismét kukoricát termesztettek. A vizsgált táblán a betakarítás során a nedves hozamot és az átlagos terméshozamot gyűjtötték.

Az energiaigény szempontjából fontos talajtömörödöttség és talajjellenállás mérése a NYME MÉK Környezettechnikai Tanszékén kifejlesztett folyamatos talajjellenállás mérő rendszerrel történt.

A *meteorológiai adatokat* a Nyugat-Magyarországi Egyetem MÉK Matematika Fizika és Informatika Intézetének Meteorológiai Csoportja által létrehozott adatbank mosonmagyaróvári állomásának 1995–2004. években a napi minimum és maximum hőmérsékleti és csapadék adatai szolgáltak.

A kukorica többéves adatsorainak elemzésénél az Agrártudományi Centrum Szigetközi Kutatási Központja által összegyűjtött adatokkal dolgoztunk.

A vizsgált 5 évben összegyűjtött hozamadatokat és a mért talajadatokat a technikai előkészítés után mind statisztikai, mind geostatistikai módszerekkel elemeztük.

Leíró statisztikával meghatároztuk az elhelyezkedést, a szóródást és az eloszlást jellemző paramétereket. Ezek alapján meghatározott szűrőfeltételekkel kiválogattuk a mintavételi és mérési hibákból eredő kiugró és extrém értékeket. Kizártuk a további vizsgálatból a pozicionálás hibájából eredő azonos koordinátájú adatokat is. A további elemzés a szűrt adatbázis alapján történt.

Ezek a statisztikai vizsgálatok nem adtak választ a térbeli mintahelyről, a minta térbeli változékonyságáról és eloszlásáról. A geostatistikai vizsgálat a regionális változók elméletén alapszik. A változók térbeli eloszlását variogram függvényvel írtuk le. Hasznos összegző statisztika, amely jelzi, hogyan *szóródtak* az adatok a vizsgált táblán.

A térképek készítésénél két interpolálási technikával dolgoztunk: az inverz távolsággal súlyozott módszerrel és a krigeléssel. Korrekt alkalmazásuk megköveteli a térbeli struktúra pontos meghatározását, amelyet geostatistikai karakterisztikával - kísérleti variogrammal és függvényvel jellemeztünk.

A becslések jóságát kereszt-ellenőzéssel és a független teszt módszerével ellenőriztük.

A talajminták száma nem volt elegendő a megbízható variogram elkészítéséhez, az adatokat kiegészítettük a változók eloszlásán alapuló véletlen számokkal.

A hagyományos Boole algebrán alapuló módszerek nem veszik figyelembe az adatok bizonytalanságát és az ökológiai paraméterek folytonos természetét.

A talajjellemezők folytonosságát, a térbeli változékonyság bizonytalanságát jobban leírhatjuk az ún. *mesterséges intelligencia* eszközeivel. Egyrészt a pontatlan (nem „éles”) adatokat ábrázoltuk és kezeltük, mint fuzzy számokat. Másrészt a határozatlan ismereteket ábrázoltuk és dolgoztuk fel fuzzy szabályok formájában.

Fuzzy krigeléssel kiterjesztettük a hagyományos krigelést és segítségével a pontos mért adatokat és a fuzzy számként definiált pontatlan becsléseket együtt kezeltük a térbeli interpolálásban.

A fuzzy ismeretalapú modellezés különösen hasznos azon a területen, ahol a komponensek között a kapcsolatok nem ismertek pontosan, vagy hiányosak, bizonytalanok az adatok a statisztikai elemzéshez. Az alkalmazott fuzzy irányítási rendszer lényegi eleme a *szabálybázis* alapú modell, amely „*ha A bemenet, akkor a kimenet B*” típusú szabályokból áll, amelyben fuzzy tagsági függvényekkel írtuk le a változók értékeit. A szabályok kiértékelésében a Mamdani következtető eljárást alkalmaztuk.

A térbeli változók összefüggéseinek és kapcsolatainak meghatározásában a regressziós és osztályozó neurális hálókkal dolgoztunk.

A fuzzy szabályok optimalizációjánál bakteriális algoritmussal, a termésbecslésben résztvevő inputok kiválasztásában a genetikus algoritmussal dolgoztunk.

Eredmények

A termőhely specifikus termelés megvalósításának kulcskérdése a megfelelő pontosságú információk gyűjtése a vizsgált területről. A bizonytalanság két jól ismert forrása a mérés és mintavétel. Változatos technikát fejlesztettek ki ezeknek a hibának a csökkentésére. A termésadatok pontjai diszkrét a térben, minden egyes adatpont a körülötte levő terület átlagtermését reprezentálja.

Az elvégzett hagyományos statisztikai elemzések mutatták a kiugró és extrém értékeket. Az alkalmazott ún. inter-kvartilis hibaelemzési módszerrel azonosítottuk és kiszűrtük a hibákat. A szűrés után a hozamok adatállományai mindegyik vizsgált évben normális eloszlásúak. A termés hozamok változékonysága az öt év során jelentősen csökkent. A kukorica három éves adatsorán jól tanulmányozható ez a kiegyenlítődés: A 2001. évi termés nagy változékonyságot $CV=42\%$, a 2002. évi termés közepes $CV=35\%$, és 2005-ben kis változékonyságot $CV=12\%$ mutat. Az árpa és a búza esetén a változékonyság $CV=18\%$.

A kukorica hozam adatok varianciaanalízise mutatta, hogy a vizsgált években a hozamok szignifikánsan különböznek $p=0,1\%$ -os szinten. Az átlagérték a 2001. és 2002. évi hozamnál $1,51 t/ha$ -ral növekedett, a 2002. és 2005. évi hozamnál a növekedés $4,37 t/ha$. A 2001. és a 2005. évet összevetve ez a növekedés az átlagtermésben már $5,88 t/ha$. A talajmintavétel értékelése során kapott fontosabb jellemzők mindkét vizsgálati évben kis és közepes változékonyságúak, a $CV=1-28\%$ között mozgott. A 2005. évi adatoknál ez a változékonyság a legtöbb jellemzőnél csökkent a 2001.évi értékekhez képest, kiegyenlítődés

történt az egyes talajparamétereknél. A vizsgált talajtulajdonságok összehasonlításánál megállapítottuk, hogy szignifikáns különbség van a két év talajmintái között. További vizsgálatot igényelnek az egyes talajtulajdonságokban bekövetkezett pozitív és negatív irányú változások

A terméshozam térbeli változékonyságának elemzésére elkészítettük a kísérleti variogramokat, majd függvényt illesztettünk hozzá (exponenciális, szférikus).

A variogram paraméterek közül a térbeli struktúra jellemzésére a *röghatás/küszöb (N/S)* hányadossal definiáltuk a kis tartományú változékonyságot. A térbeli korrelációs tartomány mutatja azt a távolságot, amelyen belül a tulajdonság értékei korrelációban vannak. A vizsgált táblán a maximális tartomány 240 m.

Kicsi N/S és nagy korrelációs tartomány rendszerint jelzi, hogy nagyobb pontossággal lehet megtervezni a tulajdonság térképét. Az irodalomban elfogadott terminológia alapján a 2003. 2004. és a 2005. évi $N/S \geq 0,6$ megfelel a *gyenge* térbeli struktúrának, ami azt jelenti, hogy az adatváltozékonyság 60%-a megmagyarázhatatlan, kis távolságú, véletlen ingadozású. A 2001. évben *közepes* erősségű $N/S \approx 0,3$ volt jellemző, míg 2002-ben $N/S < 0,2$ *nagy* erősségű térbeli struktúrát jelent.

Statisztikailag definiáltuk az interpolálás pontosságát, meghatároztuk a tesztalmazban, a valódi és az interpolálással nyert értékek különbségét. Mindegyik interpolálásnál megvizsgáltuk a becsült és a mért adatok eltérését. Az eltérések négyzetösszege alapján számított hibák a kiválasztott tesztmintánál azt mutatták, hogy a krigelés és az

inverz távolság módszerek közel azonos értéket adtak. $RMSE_{Krigelt}=0,449$; $RMSE_{inverz}=0,491$. A térbeli szerkezetet a variogram alapján jól követő *krigelést* választottuk. A krigelt értékek jóságát meghatároztuk az egyes években: $RMSE_{2001}=0,449$; $RMSE_{2002}=0,458$; $RMSE_{2003}=0,214$; $RMSE_{2004}=0,219$; $RMSE_{2005}=0,329$.

A krigelés eredményeként kapott becsült adatokból elkészítettük a hozamtérképeket. A vizsgált években készített hozamtérképek hasonló mintázatot mutattak a termés változékonyságában, így kapcsolatot feltételeztünk a meghatározó talajtulajdonságok térbeli szerkezetével. Felveti azt a lehetőséget, hogy alapul szolgálhat a talajtulajdonságok alkalmas mintaszerkezetének kialakítására. Elkészítettük a talajparaméterek térbeli szóródását leíró variogram függvényeket. A variogram függvények által meghatározott tartományok jelzik az egyes változóknál a térbeli struktúra átlagos kiterjedését. Ez nagyon hasonló képet mutatott a vizsgált változóknál. A legnagyobb távolság 250 méter. Az optimális mintasűrűséget igazítani kell a térbeli függőség tartományához, hogy elkerüljük mind az alul és felülmintázást. Ha a mintasűrűség kiválasztásánál kiegészítő adatok variogramjai szolgálnak alapul, akkor az átlagos variogramtartomány harmada és fele között a javasolt minta intervalluma, ez a vizsgált táblán *55-65m mintatávolságot* jelent.

Az eredeti mérési adatokból származó variogramok nem tekinthetők teljesen stabilnak, mert túl kevés az alapul szolgáló mérési pont. A szakirodalom legalább 50-100 közötti adatpont esetén tekinti

megbízhatónak, vizsgálatainkban 63 mintaponthoz tartozó adatokat vizsgáltunk.

A pontosság növelésére és a bizonytalanság csökkentésére a talajadatokat kiegészítettük az egyes talajparaméterek eloszlása alapján szimulált „mérésekkel”. Az így összeállított adatok „pontatlanságát” és bizonytalanságát *fuzzy halmazokkal* kezeltük. Megadtuk az egyes változók értéktartományát leíró tagsági függvényeket. Az adatokat fuzzy számmal írtuk le, *háromszög* alakú tagsági függvénnyel: $T(x|a, b, c) \in [0, 1]$, ahol $a \leq b \leq c$ a változók intervallumát jelenti a vizsgált helyen. A paraméterekhez rendelt tagsági függvények lehetővé teszik a talajtulajdonságok és hozamérték folytonosságának és az egyes értéktartományok átlapolásának kezelését. A *mért* (éles) adatokat beágyasztuk a fuzzy számok halmazába, a fuzzy számok speciális esetei, amelyek tagsági függvénye $\mu = 1$. Az így összeállított adatállományon meghatároztuk a *fuzzy variogramot*, amelynek paramétereit a vizsgált mérési adatokhoz hasonlóan fuzzy számokkal jellemeztünk. Az összeállított variogramot a $\mu_V = \min(T_{co}, T_c, T_h)$ tagsági függvénnyel adtuk meg. Az így összeállított fuzzy kísérleti variogramot használva elvégeztük az éles elméleti variogramok interaktív illesztését, és a térbeli szerkezet alapján fuzzy krigeléssel végrehajtottuk a becslést. A talajtulajdonságok térbeli szerkezetét az *éles mérési adatokkal megegyezően* írja le, így a módszer alkalmas a bizonytalan, „lágý” adatok kezelésére. Sok előnye van a fuzzy szám használatának. Egyik lehetőség, hogy azokon a helyeken, ahol kevés a pontos mérés, a szakértői ismeret bevonásával értékeket adjunk meg. A mérési pontok

sűrűségével csökken a krigelési variancia és az eredmény most több információt jelent, mert a határozatlan, bizonytalan információt is figyelembe veszi, amit a hagyományos módszerek nem használnak. Az eredményt izovonalakkal szemléltettük, ezeket átvittük ASCII állományba. A krigelés eredményét exportáltuk a térképező programba, és elkészítettük a szokásos kontúrvonalas talajtérképet. A fuzzy krigeléssel előállított térképen az értékek átmenete jobban követi a természetben előfordulókat, jobban tükrözik a talajadatok folytonosságát.

A fuzzy halmazok használatának előnyei fontos szerepet kapnak, ha több változót együtt kezelünk. A különböző mértékegységű és nagyságrendű változókat a tagsági függvényeik segítségével közös skálára transzformáltuk, így lehetőség van a változók számának csökkentésére, speciális aggregálására.

Matematikailag a többváltozós térbeli interpoláció a valós térben kifejezhető: a $Z = f(x, y, v_1, \dots, v_n)$ függvénnyel, ahol a (x, y) a helykoordináták és $v_1 \dots v_n$ a vizsgált változókat jelölik.

Különböző interpolációs modellek vannak a fenti probléma megoldására. A technikák közül a co-krigelés a direkt és kereszt-variogram strukturális modelljét igénylik. A módszerek hiányosságai: nehéz készíteni a tapasztalati variogramhoz megfelelő modellt, az adatvektor magasabb dimenziói több variogramot igényelnek.

A talaj paraméterek fuzzy halmaza alkalmas, hogy a talajtulajdonságok lehetséges értékeit egységesen definiálhassuk. A tulajdonságok egyedi értékei a fuzzy halmazbeli tagságnak felelnek meg, amelyet a tagsági függvény meghatároz.

A változók közötti kapcsolatokat szabály alapú rendszerek segítségével határoztuk meg. A tényadatokból és szabályokból állítottuk össze, feldolgozása a következtetési mechanizmusok alapján történt. A függvényt fuzzy relációval adtuk meg, a következő típusú fuzzy szabályokkal dolgoztunk:

R^i : *IF* (x_1 is A_{i1}) *AND* (x_2 is A_{i2}) *AND* ...*AND* (x_n is A_{in}) *THEN* (y is B_i),
ahol A_{i1} és B_i fuzzy halmazok és x_i és y a fuzzy bemenő és kimeneti változók.

A szabályok *ha-akkor* típusúak, az előzményeket összekapcsoltuk a fuzzy AND operátorral és számításainkban a Mamdani következtetési eljárást alkalmaztuk. A Mamdani-szabályozóval egy sajátos interpolációs eljárást valósítottunk meg.

A kimenetén megjelenő fuzzy tagsági függvényt átalakítottuk, *súlypont módszerrel* defuzzifikáltuk.

Fuzzy relációkkal meghatároztuk a talajadatok és a termés hozam közötti kapcsolatot. A fuzzy szabálybázis optimalizálását bakteriális algoritmussal végeztük.

A szabályok leírásánál trapéz alakú tagsági függvényeket használtunk, melyeket a trapéz 4 töréspontjával írtuk le. Ezek a tagsági függvények alkalmasak a változók speciális tartományainak kezelésére. A szabályokban levő tagsági függvények lefedik a változók teljes intervallumát, ezzel biztosítják a folytonosságot. Minden tagsági függvényt két indexszel azonosítottunk: $A_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ függvény az i . szabály j . input változóját azonosította, $B_i = (a_i, b_i, c_i, d_i)$ a kimenet tagsági függvénye az i . szabályban, ahol $(a \leq b \leq c \leq d)$.

A fuzzy szimulációs eljárásban az input adatok: a *helykoordináták* (x , y), a talaj *humusz%*, *pH* érték, *kötöttség*, *P*, *K*, *talajellenállás*, az output változó a terméshozam volt.

Az interpolációban a szabálybázis minden szabályát kiértékeltek, felhasználva a tagsági függvényeket és a bemenetektől nyert igazság értékeket.

A kapott szabályok megfelelnek egy speciális, fuzzy jellegű függvénydefiníciónak. A szimulációs számításban a kimeneten megjelenő eredmény (*4,184; 4,396; 5,264; 6,010*) ha az 1. szabály teljesül, (*3,892; 5,734; 7,217; 7,932*), ha a 2.szabály"..... nem éles határokat tartalmaz, hanem fuzzy átfedéseket.

Megvizsgáltuk, hogy fuzzy szabálybázis mennyire illeszkedik jól a tanítómintákra, meghatároztuk a minták alapján kívánt kimenet és a fuzzy rendszer által számított kimenet közötti különbséget

A 2001. évi kukorica terméshozamának becslésénél 10 szabály együttesen választ adott arra, hogy a bemenetek alapján a kimenetek hibája a becslésnél 12,3%, az együttes közelítés eredménye. A szimuláció paramétereinek hangolásával a létrehozott szabályokat tovább tanítottuk, ezzel pontosabb szabálybázist hoztunk létre. Az adatok alsó és felső korlátjának (a tartományának) kis mértékű módosításával újabb szimuláció vizsgálatokat végeztünk a 2002. évi kukoricaadatok elemzésével. Ez a szabálybázis jobb közelítést adott, mindegyik szimuláció hibája 10% alatt volt.

A következő szimulációban a 2004. évi őszi búza adatok alapján állítottuk össze a szabálybázist. Ezek a futtatások már nagyon jó közelítést adtak mindkét dimenzióban, 15 szabállyal leírja a

búzatermés hozamának tartományát, a megfigyelt érték és szimulációval becsült értékek hibája *nyolc* változó esetén 2,8 %, *hat* változónál 2,4 % volt. Hasonlóan jó eredményt kaptunk a 2003. évi árpa adatainak összeállításánál, a legjobb szabálybázis hibája 4,9% volt.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a modell jóságát befolyásolják az input adatállomány jellemző tulajdonságai. A tavaszi árpa és az őszi búza termésének változékonysága lényegesen kisebb (18%), mint a 2001. és 2002. évi kukoricahozamoknak (42% és 35%).

A szimulációval összeállított szabálybázist újabb ismeretlen minták kiértékelésére alkalmaztuk. A már megtanított szabálybázissal a beérkező mintára elvégeztük az interpolálást, 87-93%-os pontossággal megbecsültük a hozamértékeket.

Kompromisszumot kell kötni a modell komplexitása - jelen esetben a szabályok száma, vagy az alkalmazott tagsági függvények száma és a közelítés pontossága között. A kifejlesztett modellben 8-9 input változóval tervezhetünk, ennél több változó esetén már hierarchikus szabálybázisokat célszerű alkalmazni.

A termelés sikere függ, hogy milyen részletes ismeretekkel rendelkezünk az adott tábláról. Nagy jelentőségű annak ismerete, hogy milyen kapcsolat van a táblán belül a termés hozam és a talajtulajdonságok között. Az első lépés ebben a folyamatban olyan technika keresése, amely képes a függvénykapcsolatot azonosítani a mért talajtulajdonságok, a helyi jellemzők és a termés hozam között. Öt év hozamait és a megfelelő helyi és talajtulajdonságokat tanulmányoztuk.

A neurális hálók különleges képessége abban rejlik, hogy képesek mind a folyamatos mind a diszkrét interpolációra. A többrétegű, előrecsatolt hálóval a megadott minták alapján a háló tanításával feltárjuk a bemenő adatok és a kimenő értékek közötti kapcsolatot. Segítségükkel az adott minták alapján elkészítettük a terméshozam és a meghatározó talajtulajdonságok kapcsolati modelljét. Egyrészt felmértük a neurális háló becslési képességét a többéves adathalmazon, azonosítottuk azt a technikát, amely a mérési adataink alapján a legjobb függvényközelítést adta. Másrészt a talajadatokat összekapcsoltuk a megfelelő meteorológiai adatokkal, megvizsgáltuk a módszer általánosítási képességét.

Az összeállított regressziós hálók becslési teljesítménye *80% és 97%* között volt, ami jó függvényközelítést eredményezett.

A kukorica hozamára ható tényezők, mint a talajtulajdonságok, az időjárás és az alkalmazott technológia nagyon bonyolult kapcsolatokkal írhatók le. A minta adatok alapján történő tanulással az összeállított neurális hálókkal közel 90%-os pontossággal becsültük a mért terméshozamokat.

Összefoglalás

A szántóföldön a terméshozam és a termesztési feltételek (pl. talaj termőképessége) tér és időbeli változékonyságot mutatnak. A precíziós mezőgazdaság számára fontosak azok az információk, melyek elemzik a talaj és a terméshozam térbeli változékonysága

közti kapcsolatokat. A szántóföldi kísérletben öt év termés hozamait és a megfelelő helyi és talajtulajdonságokat tanulmányoztuk.

Meghatároztuk a hozamadatok és talajadatok térbeli változékonyságát és korrelációját, így pontosabbá tettük az adatok térbeli interpolációját. A pontatlan, bizonytalan és hiányzó adatok és ismeretek kezelésében, a folytonos tulajdonságok vizsgálatánál és a térbeli becslésnél a fuzzy halmazok alkalmazása jelentett továbblépést.

A termésbecslésben fuzzy szabályalapú modellezést alkalmaztunk, amely jól használható azokon a területeken, ahol a komponensek között a kapcsolatok nem ismertek pontosan, vagy hiányosak az adatok a hagyományos elemzéséhez.

A neurális hálók segítségével adott minták alapján elkészítettük a termés és a meghatározó talajtulajdonságok bonyolult kapcsolati modelljét.

A dolgozat eredményei elősegítik a térbeli változékonyság jobb megértését, a térbeli becslés és a bizonytalanság kezelését. Megfelelő előkészítés és szakértői ismeretek segítségével a fenti módszerek alkalmazásával, nagyobb pontossággal modellezhetjük a természeti folyamatokat.

Új kutatási eredmények (tézisek)

- 1. A hozam adatok táblán belüli térbeli változásainak nyomon követésére az összeállított variogramok alkalmasak, segítségükkel meghatározta a térbeli változékonyságot.*
- 2. A szerző megállapította, hogy a terméshozamok a kukorica hároméves adatsorában szignifikánsan különböznek, de a térbeli korrelációjuk hasonló kiterjedésű. A hozamtérképek jó alapul szolgálnak a talaj-mintavételi stratégia kialakításánál*
- 3. A vizsgált változókhoz (talajparaméterek, hozamértékek) egységesen használható elemző és modellező eszköz a fuzzy halmaz. A bevezetett tagsági függvénnyel jól kezelhető az adatok „pontatlansága” és bizonytalansága, a talajtulajdonságok és hozamérték folytonossága.*
- 4. A különböző mértékegységű és nagyságrendű változókat a tagsági függvényeik segítségével közös skálára transzformálta, így lehetőség van a változók speciális elemzésére és összevonására.*
- 5. Meghatározta a terméshozam térbeli 6 és 8 változós interpolációját a fuzzy szabálybázis alapú következtető rendszerrel. A hozam közelítésének pontossága 88% és 97% között volt a vizsgált táblán.*
- 6. Az összeállított regressziós neurális hálókkal a minta adatok alapján történő tanulással közel 90%-os pontossággal megbecsülte a mért terméshozamokat.*

Publikációs lista

Varga Haszonits Z. – **Mike-Hegedűs F.**(1993) Az éghajlati változékonyság és a növénytermesztés. Növénytermelés 42, 361-373.

Varga Haszonits Z. – Schmidt R. - **Mike-Hegedűs F.**(1994) Az éghajlati változékonyság és a gazdasági növények. Növénytermelés 43, 485-497.

Mike-Hegedűs F.- Varga Haszonits Z. – Schmidt R (1994) A meteorológiai tényezők hatása a kukorica fejlődésének ütemére. Acta Agronomica Óváriensis 36, 51-66.

Koltai G. – **Mike-Hegedűs F.** –Palkovits G.-Schummel P. (2002) Az őszi búza terméseredményei a talajvízszint és a tápanyagellátás függvényében a Szigetközben. Növénytermelés 51, 61-69.

Koltai G. – **Mike-Hegedűs F.** –Palkovits G.- Schummel P. (2002) A kukorica terméseredményei a talajvízszint és a tápanyagellátás függvényében a Szigetközben. Növénytermelés 51, 581-593.

Mike-Hegedűs F. (2006) The Estimation of Maize Yield by Neural Network. Acta Agronomica Óváriensis (közlésre elfogadva)

Mike-Hegedűs F.-Mesterházi P.-Neményi M. (2005) A fuzzy logic analysis of soil properties for site specific crop production. Informatika a Felsőoktatásban. Konferencia kiadvány

Mike-Hegedűs F.-Mesterházi P.-Neményi M. (2005) A termőhely specifikus növénytermesztés adatbázisának elemzése a fuzzy logika módszereivel. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia

Czimer Gy.-Koltai G.- **Mike-Hegedűs F.**-Palkovits G.-Pinke Gy.-Schummel P. Szabó P.(2006) Vegetation over ruder areas and changes in the moisture content of soils. Danube Monitoring Scientific Conference