ISMERETTERJESZTŐ KIADVÁNY

GYAPOTPERMETEZÉS A MEGFELELŐ IDŐBEN

CNN + FUZZY DÖNTÉSTÁMOGATÁS

A gyapot növekedési fázisainak felismerése konvolúciós neurális hálózattal, majd a permetezési terv fuzzy optimalizálása — a pontosabb időzítés és az alacsonyabb növényvédelmi költség szolgálatában.

Karshi/Qashqadaryo, Üzbegisztán · 2023–2024. évi terepi validáció

Agriculture (2026), 16, 1417 · doi.org/10.3390/agriculture16131417

NKFIH 2022-1.2.2-TÉT-IPARI-UZ-2022-00010

A KIADVÁNY RÖVIDEN

HU

Egy kép. Hat növekedési fázis. Jobb időzítés.

14 400

szűrt okostelefonos kép

93,0%

tesztpontosság

−21,2%

növényvédelmi költség

+4,5%

becsült lint-egyenértékű hozam

Két egymásra épülő szint: a terepi vizsgálat változatlan szerrel és dózissal elkülönítette az időzítés hatását; a program fuzzy modulja erre építve optimalizálja a területet, a szertípust, a mennyiséget és a költséget.

HIVATALOS PROJEKTCÍM

A gyapot termesztési költséghatékonyság növelése, a gyapot növekedési periódusának konvolúciós neurális hálózat alkalmazásával történő felismerésével.

A füzet felépítése

A következő oldalakon a kutatási logikát, a hatfázisú SP-skálát, a CNN-modellt, a program működését, a fuzzy permetezési és költségoptimalizálást, valamint a terepi eredményeket mutatjuk be.

HU

Miért számít ennyire az időzítés?

A gyapot hosszú tenyészidejű, nagy ráfordításigényű növény. A kártevők és a kezelési ablakok gyorsan változnak, miközben a növekedés ütemét a hőmérséklet, a talajnedvesség, a fény és az öntözés is alakítja. Emiatt az ültetés óta eltelt napok önmagukban nem adnak elég pontos permetezési jelzést.

1

Túl korán

A kezelés megelőzheti a biológiailag indokolt beavatkozási ablakot.

2

Túl későn

A kártevők okozta kár nőhet, és ismételt kezelés válhat szükségessé.

3

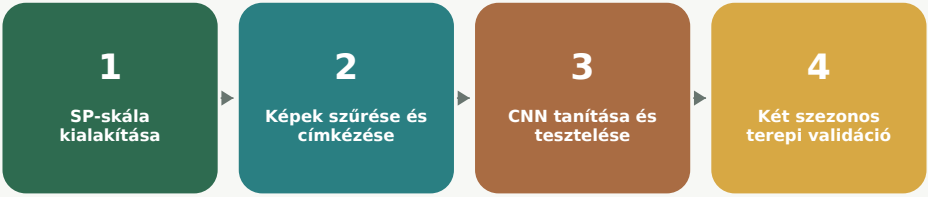
A megfelelő fázisban

Célzottabb döntés, kevesebb szükségtelen kijuttatás és jobb erőforrás-felhasználás.

A kutatási kérdés: felismerhető-e megbízhatóan a helyileg értelmezett permetezési fázis egy hétköznapi okostelefonos képről, és javítja-e ez az időzítési logika a terepi eredményeket?

HU

A szakértői tudástól a terepi tesztig



Szakértői alap

16 tapasztalt gyapot-agronómus, két moderált konszenzuskör; a végső meghatározásokat írásban megerősítették.

Független címkeellenőrzés

3, a fejlesztésben nem részt vevő agronómus 300 képet értékelt vakon. Az átlagos Cohen-féle $\kappa = 0{,}85$ volt.

Szivárgás csökkentése

A duplikátumokat a felosztás előtt eltávolították, és egy gazdaság/közreműködő képei csak egyetlen tanítási, validációs vagy teszt részhalmazba kerülhettek.

Terepi kontroll

A fajta, a gép, a fúvókák, a kezelő, a dózis, az öntözés, a tápanyagellátás és a parcellakezelés azonos maradt; csak az időzítési stratégia változott.

Ez az elrendezés a **belső érvényességet** erősíti: a különbségek értelmezhetők a vizsgált karsii környezetben. Az országos általánosíthatóságot azonban önmagában nem igazolja.

HU

Hat, terepen felismerhető fázis

A BBCH-hoz közelítő megfeleltetés értelmezési híd, nem közvetlen BBCH-szintű CNN-validáció.

SP1 — BBCH 09–11



Az első valódi levél megjelenése

Korai megfigyelés: levéltetvek és tripszek

SP2 — BBCH 12–34



Vegetatív levélnövekedés, első oldalhajtások

Lombfejlődés és korai kártevő-felderítés

SP3 — BBCH 35–50



Származmegnyúlás és lombzáródás

A permetlé behatolása megváltozik

SP4 — BBCH 51–59



Az első látható virágbimbók

Bimbós állapothoz kötött beavatkozási ablak

SP5 — BBCH 60–69



Első nyílt virágoktól a középvirágzásig

Virágzási szakasz védelme

SP6 — BBCH 70–80



Tokfejlődéstől az első toknyílásig

Korai tokvédelem és érési időszak

A határok fokozatosak: a 300 képes független ellenőrzésben a viták főként az SP3–SP4 és SP5–SP6 átmeneteknél jelentkeztek.

HU

Hogyan tanult meg „látni” a hálózat?

14 887
kiinduló kép

−487
kiszűrt kép

14 400
végső adatkészlet

312 duplikált vagy közel azonos kép; 175 súlyosan elmosódott, erősen árnyékos, hibás tárgyat mutató vagy nem értelmezhető kép.



ResNet-50 · 512 × 512 px

ImageNeten előtanított hálózat, hatos kimeneti réteggel. Adam optimalizáló, 1×10^{-4} kezdő tanulási ráta, 16-os batch, 0,3 dropout és validációs veszteségen alapuló korai leállítás. A tanítóképeken visszafogott forgatás, tükrözés és fényerő/kontraszt-változtatás történt.

93,0%
tesztpontosság

93,8%
makro F1

0,85
átlagos κ

A 93,0% a visszatartott, SP-címkézett karsii közreműködői egységeken mért belső teszteredmény — nem országos, nem BBCH-szintű és nem éles, eszközfüggetlen validáció.

HU

A képtől a végrehajtható permetezési tervig

A CNN a növényállapotot ismeri fel; a fuzzy döntési réteg a bizonytalan, részben átfedő információkat üzemi javaslattá alakítja.

1. **Kép és parcellaadat**
2. **CNN-fázisbecslés**
3. **Fuzzy kiértékelés**
4. **Színezett zónatérkép**
5. **Kijuttatási és költségterv**

A rendszer bemenetei: parcellaazonosító és terület (ha); képek és CNN-bizonyosság; a növény érettségi/fenológiai szintje; engedélyezett permettípusok és dózistartományok; egységárak és kijuttatási költség; szükség esetén kártevő-megfigyelés, készlet, gépkapacitás és időjárási korlátok.

A végső döntést a növényvédelmi előírások, a készítmény címkéje, az időjárási feltételek és a felelős agronómus jóváhagyása korlátozza.

HU

Nem merev határérték, hanem fokozatos besorolás

Egy parcella egyszerre, eltérő mértékben több kategóriához is tartozhat — ez jól kezeli a növekedési fázisok természetes átmeneteit.

1. Fuzzifikálás és tagsági fokok

ÉRETTSÉG

korai · átmeneti · célfázis · késői

KÖLTSÉG

alacsony · közepes · magas

ALKALMASSÁG

nem megfelelő · feltételes · megfelelő

2. Példák a döntési szabályokra

HA	a célfázis tagsága magas, a szer engedélyezett és a hektárköltség kedvező	**AKKOR**	**magas kijuttatási prioritás**
HA	a parcella átmeneti fázisban van vagy a CNN-bizonyosság alacsony	**AKKOR**	**új kép vagy agronómusi ellenőrzés**
HA	a szer nem illeszkedik a fázishoz vagy jogszabályi korlát sérülne	**AKKOR**	**nincs kijuttatási javaslat**

Kimenet: 0–100 közötti beavatkozási prioritás és az ajánlott permetezési alternatívák költség szerinti rangsora. A rendszer nem módosítja önkényesen az engedélyezett dózist.

HU

A teljes gazdaság színezett döntési térképe

0–24 — VÁRJ / FIGYELJ

nincs kijuttatás; új megfigyelés

25–49 — ELLENŐRIZD

átmeneti állapot; szakértői kontroll

50–74 — TERVEZD

célzott kijuttatás előkészítése

75–100 — ELSŐBBSÉGI

a feltételek teljesülésekor beavatkozás

Mennyiségi és költséglogika

Ajánlott mennyiség: $Q_j = \Sigma\, A_p \times d_j \times x_{pj}$

Teljes tervköltség: $C = \Sigma\, A_p \times x_{pj} \times (d_j \times \text{ár}_j + \text{kijuttatás}_j)$

A_p = kezelt parcellaterület; d_j = engedélyezett dózis; x_{pj} = 0–1 közötti fuzzy kijuttatási súly.
Összehasonlítás: megtakarítás = a teljes terület egységes, nem precíziós kezelésének becsült költsége − a fuzzy zónaterv költsége. Hatékonyság = megtakarítás / hagyományos költség × 100%.

HU

Az időzítés hatását különítették el

4 ha · 4 blokk · 8 blokk-év



2023 + 2024 · Bukhara-102 · öntözött kísérleti környezet

Változatlan / Held constant

- fajta és növénysűrűség
- öntözés és trágyázás
- termékek és kezelésenkénti dózis
- permetezőgép, fúvóka, nyomás
- kezelő és parcellamenedzsment

Az egyetlen változó: a permetezési időzítés logikája és az ebből következő alkalmazási gyakoriság.

3,75 vs 4,88

alkalmazás/szezon · −23,1%

113,38 vs 143,88

költség (USD/ha) · −21,2%

3,56 vs 3,40

lint-egyenérték (t/ha) · +4,5%

0,66 vs 0,84

ERI · −21,6%

A kártyák sorrendje: SP vs BBCH. Inferenciális eredmények: költség Δ −30,50 USD/ha (95% CI −44,97–−16,03; p=0,0016); lint-egyenértékű hozam Δ +0,154 t/ha (0,084–0,223; p=0,0012); ERI Δ −0,180 (−0,259–−0,101; p=0,0010). Az alkalmazásszám leíró eredmény.

HU

Mit jelentett ez hektáronként?

A javulás két forrásból adódott: kevesebb növényvédelmi kiadásból és magasabb, parcellaszinten becsült lint-egyenértékű hozamból. A számítás részleges költségvetés, nem teljes profitkimutatás.

SP vs BBCH

Növényvédelmi költség (USD/ha)



Lint-egyenértékű hozam (t/ha)



≈ 315 USD/ha

részleges költségvetési előny

≈ 285 USD/ha többlet bruttó lint-egyenértékű érték + 30,5 USD/ha növényvédelmi költségmegtakarítás

A 315 USD/ha nem teljes nyereség: nem tartalmazza a szoftver, a tanácsadás, a képzés, az adatkapcsolat, az eszközök és az üzemeltetés költségét. A számítás 1850 USD/t helyi termelői lintárat használt.

HU

Mit ad a rendszer a gazdálkodónak?

PARCELLATÉRKÉP	Színkódolt prioritás és érettségi profil minden területegységre.
MŰVELETI TERV	Mikor, melyik engedélyezett szerrel, mekkora területen és milyen szükséges mennyiséggel induljon a kijuttatás.
KÖLTSÉGTERV	Szer-, munkaművelet- és hektárköltség; eltérés a nem precíziós alapesettől.
MONITORING	Terv–tény eltérés, alkalmazásszám, költség/ha, kezelt területarány és ERI.
ERP-KAPCSOLAT	Parcella-, készlet-, beszerzési és controlling adatok átadása a vállalatirányítási rendszernek.

Mért terepi referencia: az SP-alapú időzítés a BBCH-alapú összehasonlításhoz képest 23,1%-kal kevesebb kijuttatással és 21,2%-kal alacsonyabb növényvédelmi költséggel járt. Ez az időzítési stratégia eredménye; a fuzzy modul önálló többlethatását külön üzemi validációban kell mérni.

HU

Mit tudunk — és mit kell még bizonyítani?

A CNN és a fuzzy szabályrendszer átlátható döntéstámogatási láncot alkot, de a tagsági függvényeket, árakat és növényvédelmi szabályokat minden új régióban és szezonban kalibrálni kell.

Helyi validáció

Egy helyszín, egy fajta, két szezon.

Átmeneti fázisok

Az SP3–SP4 és SP5–SP6 határok több ellenőrzést igényelnek.

Fuzzy kalibráció

A tagsági függvények és szabályok agronómusi felülvizsgálata szükséges.

Ár- és termékadat

Az adatbázist naprakészen, engedélyezési státusszal együtt kell tartani.

Hatáselkülönítés

A fuzzy modul önálló többlethatásához külön kontrollált üzemi teszt kell.

Teljes üzleti eset

A licenc, képzés, eszköz, adatkapcsolat és üzemeltetés költségét is mérni kell.

Következő lépés: több helyszínes pilot → helyi fuzzy kalibráció → külső CNN-validáció → gazdaságszintű A/B összehasonlítás a nem precíziós permetezéssel → teljes beruházási és működési költségvizsgálat.

A kiadvány forrása és a kutatói együttműködés

Elsődleges forrás

Gyuricza, C.; Földi, T.; Gáspár, S.; Barta, Á.; Thalmeiner, G.; Chorshanbiev, N.; Kuziboev, A.; Kobilov, N. (2026): Expert-Driven Spraying Phases and Deep Learning-Assisted Decision Support for Karshi/Qashqadaryo Irrigated Cotton Cultivation. Agriculture, 16, 1417.
https://doi.org/10.3390/agriculture16131417

Szerzők

Csaba Gyuricza · Tamás Földi · Sándor Gáspár · Ákos Barta · Gergő Thalmeiner* · Nurali Chorshanbiev · Aziz Kuziboev · Nurbek Kobilov

Intézmények

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE); Karshi State Technical University; University of Information Technologies and Management, Karshi. A terepi validáció a KEEI Karshi melletti kísérleti területén zajlott.

Finanszírozás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH), 2022-1.2.2-TÉT-IPARI-UZ-2022-00010 számú projektje, valamint a Karshi Engineering and Economics Institute támogatta.

Értelmezési megjegyzés

A kiadvány a publikált eredmények közérthető összefoglalója. Az ERI összehasonlító kockázati index, nem közvetlen ökológiai kárérték. A hozam parcellaszintű lint-egyenértékű becslés. A szélesebb körű alkalmazás további validációt igényel.

* Kapcsolattartó szerző: thalmeiner.gergo@uni-mate.hu

Kiadvány lezárása: 2026. augusztus



PONTOSABB IDŐZÍTÉS

A kutatás azt mutatja, hogy a helyi agronómiai tudás és a gépi látás összekapcsolása ígéretes út a permetezési döntések támogatására.

93,0%	−23,1%	−21,2%	−21,6%	+4,5%
CNN	KIJUTTATÁS	KÖLTSÉG	ERI	HOZAM

doi.org/10.3390/agriculture16131417

NKFIH 2022-1.2.2-TÉT-IPARI-UZ-2022-00010