**Přehled dálkového průzkumu pro charakterizaci znaků brambor v precizním zemědělství**

**A review of remote sensing for potato traits characterization in precision agriculture**

Sun, CH, Zhou, J, Ma, Y, Xu, Y, Pan, B, Zhang, Z. 2022. A review of remote sensing for potato traits characterization in precision agriculture. Front Plant Sci. 13, 871859.

**Klíčová slova:** precizní zemědělství, dálkový průzkum Země, satelitní snímky, brambory, bezpilotní vzdušný systém

**Dostupný z:** https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.871859/full

Brambory, které se pěstují ve více než 150 zemích, hrají klíčovou roli v celosvětovém potravinovém systému. Jedná se o celosvětově nejvýznamnější kultivovanou plodinu bez obilovin. Efektivní využívání vody, hnojiv, pesticidů a herbicidů pro plodiny brambor během vegetačního období jsou nezbytné, aby se zabránilo ekonomickým ztrátám a negativním dopadům na životní prostředí (jako je vyčerpání přírodních zdrojů, znečištění povrchových vod, odtok podzemních vod a eutrofizace). Hlavním cílem činností precizního zemědělství zaměřujícího se na brambory je snížit ztráty na životním prostředí a zároveň zlepšit výnosy brambor, aby bylo možné trvale a udržitelně uspokojovat rostoucí poptávku po produkci. Tradičně se k co nejpřesnějšímu stanovení klíčových kroků, které je třeba provést, jako je frekvence zavlažování, aplikace hnojiv, termíny výsadby a hustota populace, stejně jako biofyzikální modelování růstu plodin a výnosů za různých podmínek prostředí, používaly terénní průzkumy. Tyto metody jsou obecně časově náročné a nejsou příliš škálovatelné, protože vyžadují vizuální kontrolu a destruktivní odběr vzorků.

V posledních desetiletích se precizní zemědělství zlepšilo díky rozvoji technologií, jako je dálkový průzkum Země, globální polohovací systém, geografické informační systémy a umělá inteligence. Precizní zemědělství se postupně používá k monitorování stavu růstu plodin, vytváření samozavlažovacích systémů a systémů detekce nemocí v rozvinutých a rozvojových zemích. Senzory půdní vlhkosti podporují rozhodnutí farmářů ohledně zavlažovacích postupů, které vedou k zabránění stresu rostlin ze sucha a nadměrného zavlažování. Podobné přístupy ke zpracování dat, jako je strojové učení a zpracování obrazu, byly široce používány k získávání užitečných informací z dat dálkového průzkumu Země. Senzory, které se liší svým prostorovým a časovým rozlišením, zahrnují především viditelné kamery Red-Green-Blue (RGB), multi- a hyperspektrální kamery, termální infračervené (TIR) kamery a senzory pro detekci a měření vzdálenosti (LiDAR).

Shrnutí senzorů, které byly použity při charakterizaci vlastností brambor, s porovnáním jejich silných stránek a omezení:

**Red-Green-Blue (RGB) kamery**

RGB kamery mají obecně nejlepší výkon při poskytování snímků s vysokým prostorovým rozlišením. Schopnost být spojena s různými snímacími prostředími z nich dělá nejčastěji používané senzory v oblastech dálkového snímání pro charakterizaci vlastností plodin. Ve srovnání s jinými senzory poskytují kamery RGB intuitivní způsob vizualizace a kvantifikace vlastností plodin a jsou obvykle levné, lehké a lze je snadno namontovat na různé platformy pro sběr dat. RGB kamery jsou však omezeny jejich schopností přijímat jiné znaky plodiny než lidské vnímání a následně jejich aplikace při snímání komplikovanějších znaků plodin, jako je výnos a nedostatek živin. To vyžaduje zvláštní úsilí k odstranění šumu pozadí z RGB obrázků v určitých situacích (podobné vizuální barvy jako pozadí, pokrytí rostlin stíny a jinými rostlinami).

**Multi- a hyperspektrální kamery**

Multi- a hyperspektrální kamery poskytují informace s vyšším spektrálním rozlišením než RGB kamery a spektrální pásma navíc k viditelnému rozsahu. Ve srovnání s multispektrální kamerou poskytují hyperspektrální kamery skutečné spektrum v každém obrazovém pixelu, což umožňuje vypočítat pokročilé vegetační indexy (VI) a odhadnout nevnímané fenotypy plodin. Omezení týkající se postupů kalibrace odrazivosti a pohyblivých vzorů jsou však nákladnější jak v zařízeních, tak v ukládání dat. Spektrální kamery byly široce používány k predikci biomasy bramborových listů, výnosu trubice, detekci poškození/choroby koruny a odhadu biofyzikálních vlastností brambor, jako je obsah chlorofylu, koncentrace dusíku a index listové plochy.

Tepelné infračervené kamery (TIR)

Kamery TIR jsou nejúčinnějším nástrojem při dálkovém snímání teploty listů/krytu rostlin a stavu souvisejícího s vodou. V bramborových aplikacích se TIR kamery primárně používají k vyhodnocení stavu bramborové vody. Indikátory vodního stresu rostlin, například Crop Water Stress Index (CWSI), byly vypočteny pomocí teploty odvozené z TIR obrazu a validovány porovnáním s biofyzikálními měřeními stavu vody rostlin. Související výzkumy ukázaly, že indexy založené na obraze TIR těsně odpovídaly pozemním měřením a mohly přesně zachytit účinky různých zavlažovacích technik. V některých dalších aplikacích byly TIR kamery použity jako pomůcka pro spektrální kamery pro detekci stresu škůdců nebo hodnocení obsahu chlorofylu. Je nutné zkontrolovat kalibraci TIR kamer, protože jsou citlivé na okolní faktory prostředí, jako je teplota vzduchu, vlhkost a rychlost větru. Omezené prostorové rozlišení kamer TIR je také činí náchylnými na účinky teploty pozadí. Při identifikaci charakteristik rostlin se upřednostňují spektrální indexy před indexy TIR.

Systém detekce a rozsahu světla

Zařízení LiDAR mají výhodu v tom, že jsou lehké a mají kompaktní rozměry, a proto je lze snadno integrovat na různé platformy. Systémy LiDAR založené na bezpilotních vzdušných dopravních prostředcích (UAV) byly použity k mapování 3D struktury vrchlíku rostlin a topografie krajiny. U fazolí, cukrové řepy a brambor bylo hlášeno, že systémy LiDAR založené na UAV poskytují přesný odhad výšky rostlin ve srovnání s ručním měřením. Zařízení LiDAR mohou být dražší a vyžadují delší dobu zobrazování než jiné techniky stereo vidění z obrázků pro 3D mapování.

Platformy dálkového průzkumu pro sběr dat

Existují dva typy platforem dálkového průzkumu pro sběr dat, platformy dálkového průzkumu založené na satelitech a platformy dálkového průzkumu založené na bezpilotních vzdušných vozidlech.

Řada studií zkoumala potenciál využití platforem dálkového průzkumu založených na satelitech pro činnosti precizního hospodaření s bramborami (předpověď výnosu, hodnocení chorob, hodnocení míry herbicidů, index listové plochy (LAI), odhad obsahu chlorofylu atd.). Mezi jeho hlavní výhody patří nedestruktivní snímání zemského povrchu v širokých geografických oblastech, volitelná doba opětovné návštěvy (1 den – 2 týdny) a senzory s vysokým prostorovým a spektrálním rozlišením.

Bezpilotní letouny (UAV) jsou letadla létající bez lidí na palubě. Byly velmi oblíbenou metodou v přesném zemědělství. Platformy dálkového průzkumu založené na UAV pro zemědělské účely obvykle zahrnují palubní senzory pro sběr dat, gimbal pro korekci a stabilizaci pohybu a aplikaci pro plánování letu nainstalovanou v chytrém mobilním zařízení pro automatizované řízení letu, kromě UAV a jeho příslušenství ( jako jsou baterie a dálkový ovladač). Systémy UAV jsou často připojeny k pozemním řídicím stanicím (GCP) se známými souřadnicemi systému GPS (Global Positioning System), aby poskytovaly správně georeferenční data.

**Závěr**

Precizní zemědělství je nezbytné pro snížení dopadů na životní prostředí a zvýšení udržitelnosti zemědělství. V rámci obhospodařování brambor se využívá celá řada činností k zajištění jejich produktivity a kvality v průběhu pěstebního cyklu. Některé z těchto činností do značné míry spoléhají na in situ polní monitorování podmínek pěstování brambor, podmínek prostředí a chorob na poli, po kterém následuje sezónní rozhodování o zavlažování, hnojení, pesticidech a mimosezónní poradenství ohledně skladování, prodeje a posklizně řízení terénu. Techniky dálkového průzkumu byly prozkoumány a použity k přímému měření výnosu plodin, poškození chorobami a některých klíčových ukazatelů růstu brambor.

Stručně řečeno, nejpoužívanějšími aplikacemi pro pěstování brambor jsou predikce výnosu hlíz, odhad nadzemní biomasy, hodnocení stresu při nedostatku vody, odhad koncentrace dusíku a detekce chorob. Další aplikace zahrnují výšku rostlin brambor, index listové plochy, obsah listového chlorofylu, detekci vzcházení brambor a počítání rostlin.

**Zpracoval:** Ing. Vincent Onckelet, Lesprojekt, vincent.onckelet@plan4all.eu