**Vyhodnocení časových řad Sentinel-1 & 2 pro predikci fenologických fází pšenice a řepky**

**Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages**

Merciera, A, Betbeder, J, Baudryd, J, Le Roux, V, Spichere, F, Lacouxe, J, Rogere, D, Hubert-Moy, L. 2020. Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 163, 231-256.

**Klíčová slova:** Dálkové snímání, vícečasová optická a SAR data, pšenice, řepka, fenologie plodin

**Dostupný z:** https://www.researchgate.net/publication/340182750\_Evaluation\_of\_Sentinel-1\_2\_time\_series\_for\_predicting\_wheat\_and\_rapeseed\_phenological\_stages

Změna klimatu dnes ovlivňuje všechny ekosystémy. Kromě toho světová populace stále roste (9,7 miliardy lidí se odhaduje v roce 2050 podle OSN). To ohrožuje rovnováhu celosvětové produkce potravin. Lepší monitorování plodin by vedlo k lepším odhadům výnosů, lepší prevenci nemocí a zamoření hmyzem, lepšímu řízení aplikace hnojiv a ochraně vodních zdrojů.

Přesnějšího zemědělství lze dosáhnout identifikací a predikcí fenologických stádií plodin. Některá fenologická stádia jsou skutečně citlivější na škůdce a choroby. Identifikace a předvídání, kdy tyto fáze nastanou, se může předejít problémům a snížit používání pesticidů. Studiem fenofází plodin a přijetím správných opatření ve správný čas je tedy možné optimalizovat plány zavlažování a aplikace hnojiv. Fenologie je také jedním z nejcitlivějších biologických indikátorů změny klimatu. Fenologické posuny jsou často detekovány dlouho předtím, než jsou zjevné nevratné reakce ekosystémů.

Jednou z hlavních aktuálních výzev je identifikovat hlavní a sekundární fenologická stádia pšenice a řepky (dvě z nejdůležitějších plodin na světě z hlediska sklizňové plochy). Hlavní fenologická stádia jsou definována jako dlouhotrvající vývojové fáze rostlin, zatímco sekundární fáze jsou v nich krátké vývojové kroky. Cílem článku bylo posoudit hodnotu polarimetrických ukazatelů a určit počet relevantních znaků Sentinel-1 & Sentinel-2, které jsou potřebné pro rozlišení primárních a sekundárních fenologických fází pšenice a řepky olejky.

Časové řady snímků shromážděných senzory družic Sentinel-1 a Sentinel-2 jsou volně přístupné a umožňují pravidelné sledování plodin (každých 5 až 12 dní) v jemnozrnném měřítku. Z dat optického dálkového průzkumu Země a matematických rovnic aplikovaných na různá spektrální pásma obrazu na pixel je možné vytvořit vegetační indexy. Tyto spektrální indexy jsou velmi užitečné pro usnadnění predikce parametrů plodin, jako je výnos, biomasa a fenologická stádia. Byly nalezeny signifikantní vztahy mezi Leaf Area Index (LAI), koncentrací chlorofylu v listech, obsahem chlorofylu v korunách stromů a časovou řadou S-2 pro bramborové plodiny v Nizozemsku a pro kukuřici, česnek, oves, cibuli, brambory, slunečnici, vojtěšku a vinnou révu ve Španělsku a Itálii. Bylo zjištěno, že S-2 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) je velmi citlivý na fenologická stádia ozimých a letních plodin v jižní Francii. I když tyto schopnosti, pořizování souvislých časových řad optických snímků jsou náročné, protože optické akvizice jsou závislé na podmínkách bez mraků a signál obsahuje pouze informace o vrchní vrstvě vegetace.

Vzhledem k tomu, že mikrovlny nejsou ovlivněny atmosférickými nebo světelnými okolnostmi, fotografie pořízené radarem se syntetickou aperturou (SAR) Sentinel-1 nabízejí v této situaci alternativu k omezením optických fotografií. Ve srovnání s optickou odrazivostí závisí koeficienty zpětného rozptylu na charakteristikách půdy (vlhkost a drsnost) během raných fenologických fází rostlin a následně na vlastnostech plodin (biomasa, architektura, výška).

Četné studie prokázaly hodnotu leteckých a prostorových dat SAR pro stanovení fenologických stádií. Nedávné studie prokázaly důležitost dat S-1 pro sledování fenologie plodin. Ačkoli několik studií zkoumalo SAR a optické časové řady a jejich kombinované použití k odhadu LAI a biomasy, jen málo studií zkoumalo hodnotu optických dat S-1 SAR a S-2 pro predikci fenologických stádií.  
  
Aby vědci pokročili ve výzkumu této problematiky, studovali sérii pěti optických snímků S-2 a osmi snímků S-1 SAR, aby pokryly cykly plodin pšenice a řepky olejky na dvou místech o rozměrech 5 x 5 km. Studovaná oblast se nachází v severní Francii a vyznačuje se oceánským klimatem s průměrnými ročními teplotami 10 °C a úhrny srážek 702 mm. Studie byly provedeny na 36 polích pšenice (Triticum aestivum L.) a 19 polích s řepkou olejnou (Brassica napus L.). Fenologická stádia byla identifikována na základě stupnice Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt a chemického průmyslu (BBCH). U obou plodin bylo sledováno pět hlavních fenologických stádií, u pšenice bylo identifikováno 29 sekundárních fenologických stádií a u řepky olejky 15 (tab. 1, tab. 2).

Ve svých výsledcích klasifikace pro pšenici vědci zjistili, že odnožování bylo fenologickou fází nejpřesněji klasifikovanou pomocí samotných dat S-1, samotných dat S-2 a kombinovaných dat dvou satelitů. Fáze odnožování byla identifikována lépe pomocí dat S-1 než S-2, zatímco fáze kvetení, vývoje plodů a zrání byly identifikovány lépe pomocí S-2 než S-1. Kombinované použití dat S-1 a S-2 zlepšilo průměrnou uživatelskou přesnost odnožování, prodlužování stonků a zrání. Pouze přesnost výrobce prodlužování stonku a fáze kvetení zaostávala za přesností S-2. U řepkového semene byl vývoj plodů nejobtížnějším fenologickým stádiem k identifikaci pomocí samotných dat S-1 a kombinovaného použití dat S-1 a 2 kvůli záměně se zráním. Samotná data S-2 poskytla lepší výsledky než samotná data S-1 pro všechny třídy, zatímco jejich kombinované použití zlepšilo producentovu přesnost fáze vývoje listů z 0,8 (S-2) na 1 (S-1 a 2).

Nakonec došli k závěru, že kombinované použití dat S-1 a S-2 bylo při identifikaci hlavních a sekundárních fenologických stádií pro obě plodiny přesnější než použití samotných dat S-1 nebo samotných dat S-2. Samotná data S-2 poskytla lepší výsledky než samotná data S-1 pro oba typy plodin. U znaků S-1 vyžadovala přesná klasifikace fenologického stadia pro obě plodiny použití poměrových a polarimetrických indikátorů. Tyto vlastnosti byly zásadní pro rozlišení obou typů plodin při použití samotných dat S-1 a kombinovaných dat S-1 a S-2. Co se týče vlastností S-2, LAI, NDVI a Sentinel-2 Red Edge Position (S2REP) byly nejdůležitějšími spektrálními indexy pro oba typy plodin, zatímco Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI) byl méně důležitý. Automatický výběr 4 až 7 znaků Sentinel byl nezbytný pro predikci fenologických stádií pšenice a řepky. Nakonec tato studie prokázala důležitost kombinace dat S-1 a S-2 s Shannonovou entropií a rozsahem jako polarimetrickými markery pro sledování fenologie pšenice a řepky.

Z hlediska pokračování studií, výzkumníci nabádají k aplikaci této metody na větší velikost vzorku, zejména pro identifikaci sekundárních fenologických stádií. Konečné prediktivní modely by měly být použity na různých studijních místech, aby se zjistilo, jak přesně předpovídají primární a sekundární fenologická stádia, když jsou kombinována data S-1 a S-2.

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

**Table 1.** Phenological stages of wheat considered in the study and number of field observations for each

secondary stage (Mercier et al., 2020)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Principal**  **stage** | **Sub-class** | **2°**  **stage** | **Description** | **Number of**  **observations** |
|  |  | 20 | No tillers | 1 |
|  | 1 | 21 | Beginning of tillering: first tiller detectable | 14 |
|  |  | 22 | 2 tillers detectable | 16 |
|  |  | 23 | 3 tillers detectable | 18 |
| Tillering |  | 24 | 4 tillers detectable | 22 |
|  |  | 25 | 5 tillers detectable | 6 |
|  |  | 26 | 6 tillers detectable | 8 |
|  |  | 29 | 9 tillers detectable | 20 |
|  |  | 30 | Beginning of stem elongation | 4 |
|  |  | 31 | First node at least 1 cm above tillering node | 25 |
| Stem | 3 | 32 | Node 2 at least 2 cm above node 1 | 6 |
| elongation |  | 33 | Node 3 at least 2 cm above node 2 | 24 |
|  |  | 34 | Node 4 at least 2 cm above node 3 | 9 |
|  |  | 35 | Node 5 at least 2 cm above node 4 | 3 |
|  |  | 65 | Full flowering: 50% of anthers mature | 3 |
| Flowering, |  | 66 | Full flowering: 60% of anthers mature | 2 |
| anthesis | 4 | 67 | Full flowering: 70% of anthers mature | 3 |
|  |  | 68 | Full flowering: 80% of anthers mature | 4 |
|  |  | 69 | End of flowering | 9 |
|  |  | 71 | Watery ripe: first grains have reached half their final size | 14 |
|  |  | 72 | Watery ripe / Early milk | 2 |
| Development |  | 73 | Early milk (the content of the kernel is milky) | 13 |
| of fruit | 5 |  | Medium milk: grain content milky, grains reached final size, still |  |
|  | 75  77 | | green Late milk | 19  4 |
|  | 83 | | Early dough (the content of the kernel is doughy) | 10 |
|  | 6 84 | | Early dough/ Soft dough ((the content of the kernel is doughy) | 5 |
| Ripening | 85 | | Soft dough: grain content soft but dry. Fingernail impression not held | 3 |
|  | 87 | | Hard dough: grain content solid. Fingernail impression held | 9 |
|  | 89 | | Fully ripe: grain hard, difficult to divide with thumbnail | 8 |

**Table 2.** Phenological stages of rapeseed considered in this study and number of field observations for each

secondary stage (Mercier et al., 2020)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Principal stage** | **Sub-class** | **2° stage** | **Description** | **Number of**  **observations** |
|  |  | 17 | 7 leaves unfolded | 4 |
| Leaf development | 1 | 18 | Beginning of tillering: first tiller detectable | 7 |
|  |  | 19 | 2 tillers detectable | 7 |
| Inflorescence  emergence | 2 | 50 | Flower buds present, still enclosed by leaves | 10 |
| 51 | Flower buds visible from above (“green bud”) | 26 |
|  |  | 60 | First flowers open | 1 |
|  | 3 | 62 | 20% of flowers on main raceme open | 1 |
| 63 | 30% of flowers on main raceme open | 5 |
| Flowering |  | 64 | 40% of flowers on main raceme open | 5 |
|  |  | 65 | Full flowering | 7 |
|  | 4 | 67 | Flowering declining: majority of petals fallen | 7 |
|  |  | 69 | End of flowering | 12 |
| Development of fruit | 5 | 77 | 70% of pods have reached their final size | 1 |
| 79 | Nearly all pods have reached final size | 12 |
| Ripening | 6 | 80 | Beginning of ripening | 25 |
| 7 | 89 | Fully ripe | 19 |