



Slutrapport - digitalt hjälpmedel för att identifiera och lokalisera infektionshärdar av bladmögel i ekologisk potatisodling

Erland Liljeroth, SLU, Växtskyddsbiologi
Erik Alexandersson, SLU, Växtskyddsbiologi
Lisa Andrae, Nordfalan
Kristoffer Björkman, Orupsgården Potatis AB

Kristin Piikki och Mats Söderström, SLU, Institutionen för mark och miljö; Mark och miljö, Enheten för precisionsodling och pedometri har deltagit i projektet och genomfört flygningar och bildanalys.

Del 1: Summary

Potato late blight, caused by *Phytophthora infestans*, is a big problem in all potato growing areas. In Sweden almost one third of the fungicides used in agriculture is used against this disease despite that the area of cultivation represent only about 1 % of the total cultivated area. If untreated the disease can cause very large yield losses in susceptible cultivars. In organic production more resistant cultivars are commonly used but still late blight is a big threat since fungicide use is not allowed. Some organic farmers regularly inspect the fields visually to detect infected plants or group of plants. In resistant cultivars it may help to kill or remove those plants to delay further spread of the disease.

Manual inspections are, however, very time consuming and in this project we have investigated if infected plants/areas in the field can be detected from a drone equipped with a multispectral camera. This could then be developed in an application where infected areas of the field were identified on a digital map.

In 2017 we followed the late blight infection in an organically cultivated potato field. The cultivar grown was Connect, which have a relatively high degree of resistance to late blight. Still it became infected and the first symptoms were found on July 20, which was about two weeks later than in a susceptible cultivar grown in a field besides. The progress of the disease was also slower than in a susceptible cultivar.

We flew with a drone (Explorian 8, Pitchup, Gothenburg, Sweden) equipped with a 5-band multispectral camera (Rededge, Micasense, Seattle WA, USA) on July 21 and on Aug 4. In this report we focus on the results from the second time point. Before flying we marked a network of the field with white paper plates to make it easier to identify the photos. It consisted of 144 observations plots of about 0.75×1.5 m each. On Aug 4 we also made measurements with a hand held spectrometer (QualitySpec, Boulder, CO,

Projekt har fått finansiering genom:



USA) and compared healthy leaves with infected leaves. In each plot we visually scored the degree of late blight infection.

We found clear differences in reflectance spectra between healthy and infected leaves at 520-600 and 720-960 nm. Thus, it is possible to detect late blight spots within those wavelength areas. We also found correlation between visually scored degree of infection and reflectance measured by the drone based multispectral camera. In the field we observed a spatial autocorrelation among the observation plots meaning that plots close to each other were more similar than distant plots. This indicates that there is a potential to make risk maps based on multispectral data. However, more work is needed to find optimal indexes for the application that can localize the infected spots. This is especially important at low degree of infection. We also need to test this in multiple places and years in more potato cultivars. A user friendly app could be developed where photos are uploaded and risk index maps are returned together with the actual GPS positions of the infected areas.

Del 2: Rapporten

Inledning

Potatisbladmögel, som orsakas av algsvampen *Phytophthora infestans*, är ett mycket stort problem både i potatisodling i Sverige och globalt. I Sverige står potatisodling för nära en tredjedel av jordbrukets användning av fungicider trots att den endast upptar en liten del av totala åkerarealen. I den konventionella potatisodlingen börjar man idag bekämpa innan de första angreppen har kommit, vanligen redan i mitten av juni. Anledningen till att man börjar bekämpningen redan före angrepp är att vid ogynnsamma förhållanden kan ett litet angrepp snabbt utvecklas och ödelägga skörden. Under de senaste åren har det förekommit flera fall då kraftiga angrepp uppstått i odlingar utan att upptäckas i tid och de väderbaserade modellerna inte fungerat tillräckligt bra. Detta har lett till flera fall där hela skördar blivit förstörda, särskilt år 2014 då det förekom mycket tidiga angrepp och odlingen fick avbrytas på flera platser till stora ekonomiska kostnader för den enskilde jordbrukaren. Kemisk bekämpning är således inte tillräcklig om den sätts in för sent. Detta gäller framförallt i mycket mottagliga potatissorter som Bintje och King Edward. I mer resistenta sorter samt i stärkelsepotatissorter som vanligen har betydligt bättre resistens finns det fortfarande goda chanser att rädda grödan efter ett mindre angrepp med kurativ fungicidbehandling. I ekologisk odling av matpotatis använder man i regel mer resistenta sorter just för att undgå risken att helt förlora skörden vid ett plötsligt bladmögelangrepp. Man har heller inte möjlighet att använda fungicider för att stoppa ett begynnande angrepp. Många ekologiska potatisodlare inspekterar regelbundet sina fält visuellt till fots för att upptäcka infektionshärdar, d.v.s. när en grupp plantor som blivit angripna av bladmögel. Genom att avlägsna dessa manuellt minskar man risken för ytterligare spridning. Inspektionen av fältet är både tidskrävande och mödosamt.

Det vore därför av stort intresse att kunna upptäcka tidiga sjukdomsangrepp med fjärranalys. Inom växtskydd för potatis finns det således ett stort behov av ett automatiserat, digitalt stödssystem för odlare. Som ett led i detta har vi inlett ett samarbete tillsammans med IBM Sverige och SLU Skara under 2016, EnBlightMe! (Vinnova 2016-04386). Här vill vi bygga vidare på detta system med fokus på ekologiska odlare. I ekologisk odling finns ett särskilt behov av övervakning eftersom kemisk bekämpning inte kan tillämpas. I Vinnovaprojekt undersöker vi hur tidigt bladmögelangrepp kan upptäckas med fjärranalys i potatisfält och om detta kan integreras i väderbaserade prognosmodeller och vara en del i ett beslutsstödsystem. För att det skall vara av värde i konventionell odling av mottagliga sorter behöver man kunna upptäcka infektionen mycket tidigt, då det endast finns enstaka fläckar i ett fält. Detta är idag för svårt med nuvarande bildanalysteknik och att utveckla dessa tekniker vidare är målet i Vinnova-projektet.

Detta projekt är ett sidoprojekt till EnBlightMe! där vi vill utveckla tekniken med drönarfotografering för att upptäcka infektionshärdar av bladmögel i ekologisk odling. Tekniken kan fungera även för andra avvikande plantor, t.ex. med virusinfektion som

odlaren snabbt skulle vilja kunna hitta och avlägsna. Tekniken skulle också kunna vara till hjälp för att hitta fläckar med misstänkta nematodangrepp.

Målet på längre sikt är att kunna erbjuda odlare av ekologisk potatis ett effektivt och tidsbesparande system för att identifiera infektionshärdar av bladmögel och andra avvikande plantor. Efter fotografering med drönare markeras misstänkta infektionshärdar på en karta som underlättar för odlaren att snabbt hitta och avlägsna de infekterade plantorna.

Materiell och metoder

Val av fält

Vi gjorde till en början överenskommelser med två ekologiska potatisodlare om att få flyga med drönare över deras fält: Kristoffer Björkman, Orupsgården utanför Flyinge i Skåne och Bengt Nilsson utanför Falkenberg i Halland. Av praktiska skäl, främst att angreppen kom vid en tidpunkt då vi kunde flyga gjorde att det endast var möjligt att genomföra flygningarna hos Kristoffer Björkman. Vi valde ut två fält i byn Attarp utanför Löberöd samt ett utanför Flyinge som möjliga att använda. Fältet i Flyinge visade sig få ganska mycket ogräs så vi valde bort detta och koncentrerade oss på de två fälten i Attarp. I det ena fältet odlades den för bladmögel mottagliga sorten Solist och i det andra fältet den relativt resistenta sorten Connect. Fältet inspekterades ca två gånger per vecka fram till att vi upptäckte de första bladmögelangreppen. De första bladmögelfläckarna observerades i Solist den 3 juli. Sjukdomsförloppet gick därefter mycket snabbt och vi hade inte möjlighet att flyga förrän fältet hade alltför omfattande angrepp och fick koncentrera oss på fältet med den mer resistenta sorten Connect, där angreppen kom senare. Vi noterade de första mindre angreppen den 20 juli, 2017 och någon dag efter besöktes fältet igen och ett antal platser med infekterade plantor markerades för att lättare identifiera dessa på drönarbilder. Flygning med fotografering gjordes därefter vid två tillfällen, den 21:a juli samt den 4:e augusti, 2017. I denna rapport fokuserar vi på resultat från mätningarna vid det senare tillfället.

Utrustning för drönarburna mätningar

Vid båda tillfällena användes en Explorion 8-drönare (Pitchup, Göteborg) med en multispektral kamera (Rededge, Micasense, Seattle WA, USA) med fem smala våglängdsband (e.g. Holmberg, 2017) och en tillhörande instrålningsmätare. På drönaren fanns även en vanlig RGB-kamera (RX-100, Sony, Tokyo, Japan) monterad men data från den analyserades inte i detta projekt. Den multispektrala kameran var fast monterad på drönarens undersida medan RGB-kameran var monterad på en gimbal (kameraupphängning som medger att kameran förhåller sig lodrät) (figur 1). Rutterna lades upp med hjälp av den fria mjukvaran UgCS (www.ugcs.com). Flyghöjderna varierade mellan flygningarna och syftet med dessa, men var mellan 10 och 60 m över fältet.



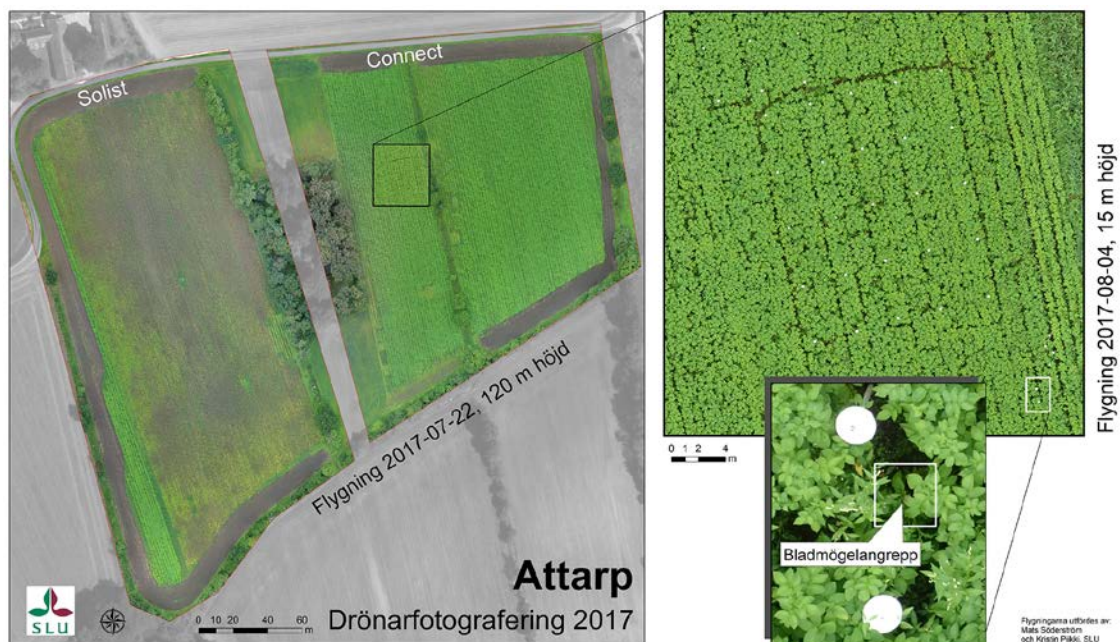
Figur 1. Utrustning för de drönrarna mätningarna. En multispektral kamera och en RGB-kamera monterades på en oktokofter.

Fjärranalys med multispektralkamera samt markobservationer 4:e augusti

En översiktbild över fältet finns i figur 2. Före flygning markerades ett rutnät i fältet med vita papptallrikar för lätt identifikation i bilderna. Det bestod av 144 observationsrutor om ca 0,75 m × 1,5 m (figur 3).

Flyghöjden var 15 m och överlappen mellan de bilderna var 80% både inom och mellan flygstråken. Före och efter varje flygning fotograferades en vit referensplatta med kända reflektansegenskaper med fembandskameran.

Bladmögelgraderingar gjordes i varje ruta, dels på traditionellt sätt genom att ange procentandel av den ovanjordiska biomassen med symptom på bladmögelinfektion men även genom att ange procentandel av den ovanifrån synliga biomassen som hade symptom.



Figur 2. Översiktbild över fältet.



Figur 3. Översikt över observationsrutorna från mättillfället den 4:e augusti. Bakgrunden är en RGB-mosaik från fembandskameran med skuggor och mark bortmaskade (röd maskering). Pappallrikarna som markerade koordinatsystemet ses som vita cirklar. Rutornas storlek är omkring $0,75 \times 1,50 \text{ m}^2$ (de varierar något beroende på utsättningsmetodiken).

Mätningar för detaljerad spektralanalys av infekterade och friska blad

Vid mättillfället den 4:e augusti gjordes även mätningar för detaljerad spektralanalys av infekterade och friska blad. Dels gjordes mätningar med en handhållen spektrofotometer (QualitySpec Trek, Boulder, CO, USA), som registrerar reflektansspektra i det synliga och nära infraröda våglängdsområdet, direkt på fläckar av bladmögel och direkt på friska blad. Tjugo blad av varje plockades och mätningarna gjordes utan dröjsmål på ett bord vid sidan av fältet. För detta ändamål gjordes också mätningar med den multispektrala kameran, som hölls över beståndet medan bekräftade bladmöglfläckar fotograferades.

Dataanalys

Mosaikning

Mosaiker, d.v.s. en enda bild som skapas genom att man lägger samman alla överlappande foton, av bilderna från fembandskameran gjordes med hjälp av kameratillverkarens egen webbtjänst ATLAS (Micasense, Seattle WA, USA). Även bilderna av den vita referensen laddades upp till ATLAS och användes för att räkna om bildernas värden till reflektans.

Filtrering och extraktion av data från bildmosaikerna

Hål i beståndet (skuggor och mark) och papptallrikarna som användes för markering maskades bort från mosaikerna. Det gjordes genom klassificering med en *isocustering*-funktion kombinerat med manuell bedömning. Sedan extraherades medianreflektansen för varje observationsruta och alla olika våglängsband. Filtreringen och dataextraktion gjordes i ArcGIS (ESRI, Redlands, CA, USA).

Beräkning av vegetationsindex

Ett antal vanliga vegetationsindex beräknades från fembandskamerans reflektansvärden för observationsrutorna (medianvärden användes, och endast för den ej bortmaskade delen av rutorna): NDVI, GNDVI, ChII, dI, NDRE, MSAVI2, OSAVI, VARI och ExG. Beskrivningar av dessa finns t.ex. i indexdatabasen av Heinrich et al. (2012).

Korrelationsanalys

Det gjordes en korrelationsanalys för ett dataset med 144 observationer \times 16 variabler. Observationerna var värdena för de 144 rutorna och variablerna var: de fem banden med reflektansvärden från multispektralkameran, de nio vegetationsindexen samt de två värdena på angreppsgrad (totalt i beståndet och på beståndets yta). En korrelationsmatris upprättades i Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA) och korrelationskoefficienternas statistiska signifikans testades på signifikansnivån $\alpha = 0.05$.

Resultat och diskussion

Beskrivande statistik

Beskrivande statistik för insamlade data vid tillfälle två redovisas i Tabell 1.

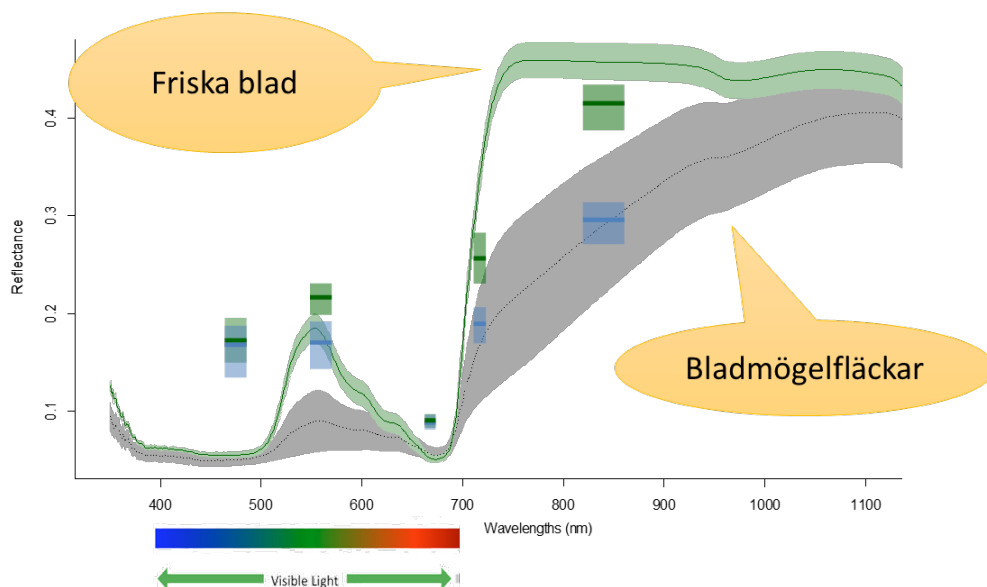
Tabell 1. Beskrivande statistik (kvartiler) för reflektansdata från drönerburen multispektralkamera och infektionsgrader från manuella graderingar i hela beståndet (under) och i beståndets yta (över) i 144 observationsrutur. Graden av infektion bedömdes enligt en något modifierad EPPO standard skala.

Statistik	Reflektans					Infektionsgrad (%)	
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Under	Över
0 (min)	0.02	0.11	0.03	0.29	0.87	0.1	0.0
1	0.03	0.12	0.03	0.33	0.96	0.5	1.2
2 (median)	0.03	0.13	0.03	0.33	0.98	0.7	2.4
3	0.03	0.13	0.04	0.34	1.00	1.0	3.8
4 (max)	0.03	0.14	0.04	0.36	1.07*	3.0	7.9

**) The reason for a value over 1 (which in theory is not possible) is errors introduced when correcting for incoming light measured at two occasion (before and after) instead of continuously during the flight.*

Reflektansspektra av infekterade blad jämfört med till synes friska blad

I figur 4 visas medelreflektans samt standardavvikelse från mätningarna med den handhållna spektrofotometern. Man ser att i våglängdsområdena 520-600 nm samt 720-960 nm skiljer sig reflektansspektra mellan infekterade och friska blad. I figur 4 ser man även att reflektansen i multispektralkamerans band 3, 4 och 5 skiljer sig åt mellan infekterad och frisk bladyta. Dessa mätningar gjordes direkt på enskilda blad. Huruvida spektra från mätningar på beståndnivå skiljer sig åt kan vi inte dra några slutsatser om från det här datasetet.



Figur 4. Reflektans från infekterade och tillsynes friska blad. I figuren visas medelspektra och standardavvikelser från mätningar på 20 friska bladytor och 20 bladmögelfläckar med handhållen spektrofotometer. De diskreta reflektansdata som visas i fem band kommer från bilder tagna med den multispektrala kameran på ca 50 cm avstånd från beståndet. Grönt visar reflektans i friska pixlar och blått visar reflektans i pixlar med bladmögelfläckar.

Infektionsgraden korrelerar med beståndets reflektans mätt från drönare

Korrelationsmatrisen för datasetet med reflektans i enskilda våglängdsband, vegetationsindex samt manuella graderingar av infektionsgrad visas i figur 5. När det gäller infektionsgraden var korrelationerna ibland starkare med reflektans i enskilda våglängdsband än med de beräknade vegetationsindexen. Det tyder på att indexen inte var optimala för den här tillämpningen, vilket inte är konstigt, eftersom de flesta tagits fram baserat på en god korrelation med grödans biomassa eller kväveinnehåll, dessutom i flera med betydligt bredare band (s.k bredbandsindex). Utveckling av index för optisk fjärranalys särskilt anpassade för riskkartering av bladmögelangrepp är något man bör arbeta vidare med.

Det är många statistiskt signifikanta r-värden i korrelationsmatrisen. Det skulle kunna bero på spatial autokorrelation i datasetet. Autokorrelation i datasetet betyder att det antagande om oberoende observationer som det statistiska testet baseras på överträds och att risken för typ1-fel (felaktigt förkastade nollhypoteser) blir högre än den valda signifikansnivån (α).

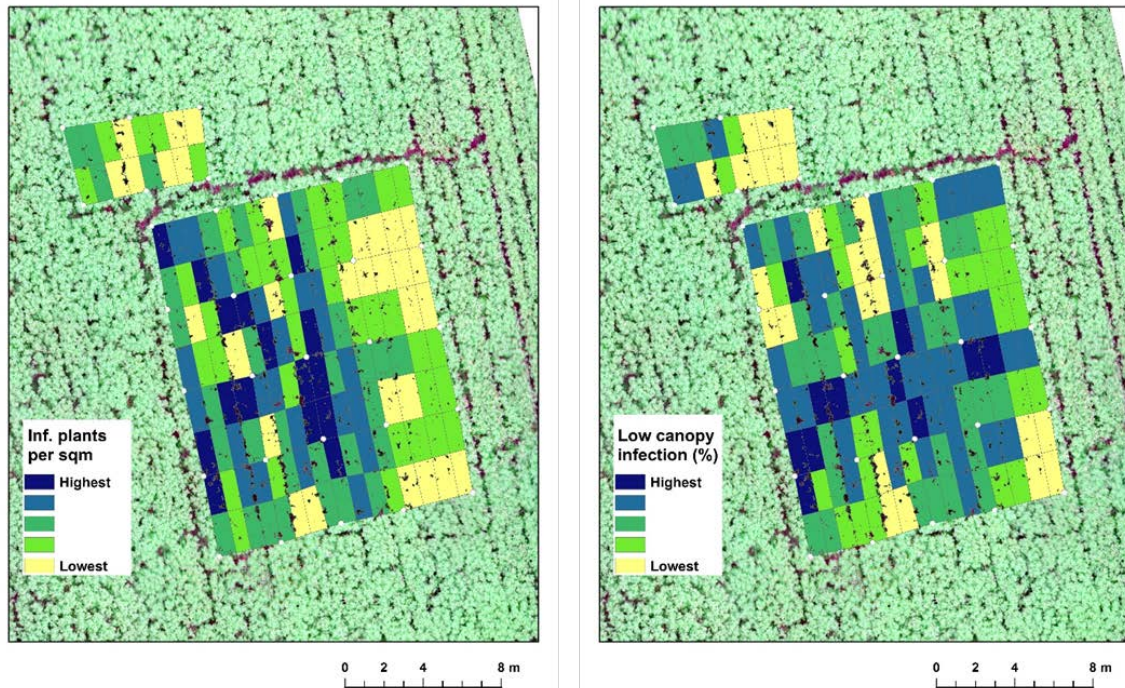
Även om vi i det här fallet, inte bör lägga för stor vikt vid de statistiska signifikansnivåerna tolkar vi korrelationerna i matrisen som att man kan gå vidare och ta fram en metod för att kartera risken för bladmögelangrepp från multispektrala mätningar med UAV i fält. Ytterligare mätningar krävs dock för att vi ska kunna utvärdera hur väl metoden fungerar på andra platser, under andra år och i andra potatissorter. När man utvärderar riskkarteringsmetoden bedömer vi att det är sämre med falska negativt resultat (FN; att kartan visar låg risk där det finns angrepp) än med falskt positivt resultat (FP; att kartan visar hög risk där grödan inte är angripen). Detta kan man ta hänsyn till när man arbetar fram karteringsalgoritmen.

<i>r</i>	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	NDVI	GNDVI	ChII	dI	NDRE	MSAVI2	OSAVI	VARI	ExG	Over	Under
Band1																
Band2	0.94															
Band3	0.94	0.93														
Band4	0.94	0.99	0.93													
Band5	0.95	0.94	0.91	0.97												
NDVI	0.78	0.79	0.74	0.84	0.89											
GNDVI	0.77	0.76	0.73	0.82	0.88	1.00										
ChII	0.69	0.62	0.63	0.68	0.82	0.92	0.94									
dI	0.75	0.71	0.69	0.76	0.87	0.97	0.99	0.99								
NDRE	0.76	0.73	0.71	0.78	0.87	0.98	0.99	0.98	1.00							
MSAVI2	0.79	0.80	0.75	0.85	0.90	1.00	1.00	0.92	0.97	0.98						
OSAVI	0.81	0.82	0.77	0.86	0.91	1.00	1.00	0.92	0.97	0.98	1.00					
VARI	0.77	0.80	0.68	0.83	0.87	0.98	0.97	0.88	0.94	0.95	0.98	0.98				
ExG	0.74	0.81	0.70	0.85	0.86	0.98	0.96	0.86	0.93	0.94	0.98	0.98	0.99			
Over	-0.37	-0.22	-0.39	-0.23	-0.37	0.22	ns	ns	ns	ns	ns	-0.27	0.26	0.33		
Under	-0.29	-0.26	-0.26	-0.28	-0.34	-0.30	-0.30	-0.30	-0.31	-0.31	-0.30	-0.31	-0.27	-0.25	0.70	

Figur 5. Korrelationsmatris för ett dataset från tillfälle två bestående av reflektans i fem band (ett medianvärdet för vardera av de 144 observationsrutorna), nio vegetationsindex beräknade från medianvärdena (NDVI, GNDVI, ChII, dI, NDRE, MSAVI2, OSAVI, VARI och ExG) samt manuella graderingar av infektionsgrad, dels totalt (benämns under) och dels synlig infektionsgrad ovanifrån (benämns over). Färgskalan i tabellen visar korrelationskoefficienterna (r). Blått: stort positivt värde på r. Rött: stort negativt värde på r. Vitt: Nollhypotesen $r \neq 0$ kunde inte förkastas ($P > 0.05$).

Infektionsgraden var spatialt autokorrelerad

Figur 6 visar rutvis värden av infektionsgraden i det totala beståndet och man kan notera en spatial autokorrelation, d.v.s. att rutor nära varandra tenderar att ha mer lika värden än rutor längre ifrån varandra. Det vi ser av den spatiala variationsstrukturen i figur 5 visar att den upplösning vi arbetat med här kan vara lagom att fortsätta arbeta med när man går vidare i metodutvecklingen.



Figur 6: Spatial variation i graderad infektionsgrad i hela beståndet. I figuren till vänster är värdena omräknade till per ytenhet eftersom dels rutornas storlek varierade och sedan bortföll viss del som klassificerades som avsaknad av vegetation.

Slutsatser

Vi drar följande slutsatser från projektet:

- Reflektansspektra av bladmögelfläckar skiljer sig från spektra av synes frisk bladyta i våglängdsområdena 520-600 nm samt 720-960 nm på ett sätt som gör det möjligt med en kamera i området synligt-infrarött ljus detektera fläckarna.
- Korrelationerna mellan graderad av infektionsgrad och reflektans från den multispektrala kameran visar att det går att ta fram riskkartor för bladmögelangrepp baserat från data från en drönarflygning över fältet. Dock bör man arbeta vidare med att hitta optimala index för den här tillämpningen (dvs att lokalisera bladmögelfläckar). Tillförlitligheten för framtagna kartor bör också utvärderas på fler platser, under fler år och i fler potatissorter.
- Det observerades en spatial autokorrelation i drönardata för de enskilda rutorna. Det är intressant då det ger en fingervisning om i vilken upplösning det kan vara intressant att arbeta vidare.

Nytta för näringen och rekommendationer

Vi föreslår följande fortsatta arbete:

1. Identifiera det index (baserat på reflektansen i ett eller flera våglängdsband) som bäst korrelerar med infektionsgraden. Man bör lägga särskild vikt vid ett starkt samband vid låga infektionsgrader. Detta är lämpligt att göra baserat på drönarmätningar från fältförsök.
2. Göra multispektrala mätningar över ett antal fält (5-10 st), ta fram indexkartor för bladmögelangrepp baserat på det riskindex som identifierats enligt ovan, och utvärdera dessa kartor. Mätningarna bör göras relativt snart efter begynnande angrepp, vid den tidpunkt då det vore lagom att i praktiken gå ut och gräva bort infektionshärdar. Man kan besöka de 10 platser i varje fält med störst indikation på angrepp Samt de 10 platser i varje fält som har lägst indikation på angrepp Därefter kan man utvärdera kartan genom att beräkna andelen FP och andelen FN.
3. Programmera en användarvänlig mjukvara (ev. i form av en webapplikation) där man kan ladda upp det insamlade bildmaterialet efter en flygning och få tillbaka riskindexkartor. Man bör sedan kunna visa kartorna i en smart mobiltelefon tillsammans med aktuell position från mobilens GPS. Det skulle vara ett bra digitalt hjälpmedel för att lokalisera infektionshärdar av bladmögel i ekologisk potatisodling.

Referenser

Henrich, V., Krauss, G., Götze, C., Sandow, C. (2012): IDB - www.indexdatabase.de, Entwicklung einer Datenbank für Fernerkundungsindizes. AK Fernerkundung, Bochum, 4.-5. 10. 2012. Tillgänglig online: https://www.lap.uni-bonn.de/publikationen/posterordner/henrich_et_al_2012 (verifierad 20 april 2018).

Holmberg, M. (2017). Sjukdomsidentifiering i potatis och stråsäd med luftburna multispektrala sensorer. Exampensarbete. Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet. 60 sidor. Tillgänglig online: https://stud.epsilon.slu.se/10093/1/holmberg_m_170403.pdf (verifierad 18 april, 2018).

Del 3: Resultatförmedling

Ange resultatförmedling av projektet, inklusive titel, referens, datum, författare/talare, och länk till presentation eller publikation om tillämpligt. Planerade publiceringar (med preliminära titlar) ska ingå i tabellen. Ytterligare rader kan läggas till i tabellen.

Vetenskapliga publiceringar	
Övriga publiceringar	
Muntlig kommunikation	Liljeroth E och Antkowiak P "EnBlightMe – ett automatiserat stödsystem för upptäckt av potatisbladmögel UAS Forum Sweden, Linköping, 3-4 oktober 2017
	Söderström M. UAV i lantbruksforskning vid SLU. Informations- och dialogkonferens om UAS (drönare) i jordbruket, Sjöbo, 28 november, 2017.
Studentarbete	"An Image Analysis Pipeline for the Detection of Potato Late Blight under Field Conditions", Msc Student Peter Antkowiaks 15 ECTS projektarbete
Övrigt	Poster presentation " The potential and challenges of UAV-borne remote sensing for detection of potato late blight in the field", på COST Action-möte "Plant phenotyping for future climate challenges" 20-21 mars 2018 i Leuven, Belgien

2018-09-17