
**多元衛星測量方法應用於崩塌坡面地形
變遷分析與穩定性評估**
**Applying multi-satellite observations
for landslide morphological change
analysis and stability assessment**
(成果報告)

執行單位：國立中央大學

執行期間：112 年 2 月 8 日至 112 年 12 月 31 日

計畫主持人：姜壽浩 副教授

研究人員：姚柏成 研究助理

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 112 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

多元衛星測量方法應用於崩塌坡面地形變遷分析與穩定性評估

摘要

本計畫提出一多元衛星測量方法，整合光學以及雷達衛星觀測資料，應用於崩塌地破壞面測量，並根據邊坡土砂堆積變動情形以評估其之穩定性，以期能對土砂災害防治工作提供助益。本計畫預計為二年期計畫，第一年期(本年期)之主要目的為運用光學衛星資料建立新型影像指標用於快速偵測因崩塌造成之不安定土砂之分布位置，並以新竹秀巒崩塌、桃園光華崩塌及高雄玉穗溪等三處崩塌為研究區。研究成果主要為崩塌權重樣態指標(Weighted Landslide State Index, WLSI)的提出與試驗，配合 Sentinel-2 光學影像進行應用。研究發現此指標對於崩塌坡面上之土壤岩屑與母岩有相當好的區判能力，有助於崩塌的穩定性進行分析，並在 WLSI 的多時序資料基礎上發展了動態邊坡穩分數(Temporal Slope Stability Score, TS_{score})，可應用於界定新增崩塌之發生時機，並判釋崩塌發生後之邊坡持續不穩定的區域。研究成果發現，高雄玉穗溪該崩塌為一不穩定崩塌，且為該集水區之不安定的土砂之來源；新竹秀巒崩塌則有汛期因強降雨造成之坡面侵蝕，具季節性的變動；桃園光華崩塌因噴漿致使坡面於光學影像中無

明顯變化，而其持續之潛移狀況，本研究則建議可使用干涉合成孔徑雷達(Interferometric synthetic aperture rada, InSAR)技術進行監測。本研究後續則將整合雷影像資料，對於崩塌坡面之高程變動進行監測，進而能提供完整之崩塌穩定性評估成果。

關鍵詞：崩塌、光學影像、崩塌權重樣態指標、Sentinel-2、動態邊坡穩分數。

Applying multi-satellite observations for landslide morphological change analysis and stability assessment

Abstract

This project aims to propose a framework for integrating multi-sensors, including optical imagery and Synthetic Aperture Radar (SAR), to monitor the stability of landslides. The research aim of this year is to develop an optical-based imagery index that can effectively detect the stability of landslides. Data from three study sites, the landslides in Xiuluan Hsinchu, Guanghai Taoyuan, and Yusui Creek Kaohsiung were collected respectively for analysis. The research outcomes include the development of the Weighted Landslide State Index (WLSI) which has been tested to prove its capability of distinguishing soil/regolith and bedrock over landslides and is also expected to become the basis of the assessment of landslide stability. Accordingly, this study proposes a Temporal Slope Stability Score (TS_{score}) which is based on Sentinel-2 derived WLSI time series and can identify the significant temporal changes over slopes. TS_{score} not only effectively detects the timing of slope failure but also evaluates the stability of the slope. The result of landslide monitoring using TS_{score} shows that the landslides in Xiuluan experienced seasonal erosion during the rainy season; landslides in Yusui Creek are unstable and may persistently deliver sediments to the catchment; and Guanghai is relatively stable in optical data due to its stabilized protection engineering for the

slope creeping which can be detected using Interferometric synthetic aperture radar (InSAR) technique. In the future, this study aims to integrate morphological change detection using SAR data to advance the proposed slope stability assessment.

Keywords: Landslide, Optical data, Weighted Landslide State Index, Sentinel-2, Temporal Slope Stability Score

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	V
表次.....	VII
圖次.....	VIII
第一章 緒論.....	1-1
第一節 計畫依據	1-1
第二節 計畫目的	1-3
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 研究執行步驟	2-24
第三章 工作進度與研究成果	3-1
第一節 計畫進度	3-1
第二節 研究成果	3-2
第四章 結論與建議	4-1
第一節 結論	4-1
第二節 建議	4-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 大氣校正應用模型參考說明	附-1
附錄二 衛星影像收集列表	附-4
附錄三 各項指標時序圖資	附-16
附錄四 計畫審查意見暨回覆辦理情形	附-71
一、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-71
二、現地查核會議紀錄暨回覆辦理情形	附-75

三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-76
-------------------------	------

表次

表 2-1 FIELDSPEC® 3 波長配置	2-14
表 2-2 SENTINEL-2A 衛星波段對照表	2-20
表 3-1 四類地物之崩塌樣態權重指標計算統計	3-5
表 3-2 J-M DISTANCE 比較分析成果	3-8
表 3-3 分析影像時間與對應降雨量	3-19
表 3-4 光華崩塌地 TS_{SCORE} 時序分析	3-20
表 3-5 秀巒崩塌地 TS_{SCORE} 時序分析	3-22
表 3-6 玉穗溪崩塌地 TS_{SCORE} 時序分析	3-24

圖次

圖 1-1 研究區崩塌位置	1-2
圖 2-1 新竹秀巒崩塌示意圖	2-2
圖 2-2 秀巒崩塌現況	2-4
圖 2-3 秀巒崩塌現況	2-4
圖 2-4 桃園光華崩塌示意圖(行政院農委會，2021)	2-5
圖 2-5 光華崩塌地形特徵	2-6
圖 2-6 崩塌土方影響範圍成果分析圖	2-7
圖 2-7 光華崩塌坡面噴漿	2-8
圖 2-8 玉穗溪崩塌位置示意圖	2-9
圖 2-9 荖濃溪周邊水系及潛勢溪流分布圖	2-9
圖 2-10 玉穗溪歷年 SPOT 影像	2-11
圖 2-11 玉穗溪 8 月 7 日降雨事件後現況	2-12
圖 2-12 FIELDSPEC® 3	2-14
圖 2-13 現地量測四種主要地物的平均反射光譜	2-16
圖 2-14 土壤與母岩光譜特徵比較	2-17
圖 2-15 大氣層對成像的影響示意圖	2-22
圖 2-16 工作執行流程圖	2-24
圖 3-1 四種地物的之崩塌樣態權重指標統計盒狀圖	3-6
圖 3-2 秀巒崩塌 WLSI 與 UAV 影像分類之比對	3-10
圖 3-3 WLSI、NDVI、NDWI 之土壤岩屑與母岩之指標數值盒狀圖	3-11
圖 3-4 WLSI 與地物分類範例	3-13
圖 3-5 崩塌坡面 WLSI 地物分類面積時序變化及日雨量紀錄	3-15
圖 3-6 高雄玉穗溪崩塌 SENTINEL-2 真實色(RGB)影像	3-16

圖 3-7 特徵表準差之估計值與模擬樣本數之關係.....	3-18
圖 3-8 崩塌坡面 TSSCORE 平均值(MEAN)與標準差(STD)時序變化時 序變化及日雨量紀錄	3-27

第一章 緒論

台灣颱風、地震事件頻繁，致使山區崩塌成為常見之地質、土砂災害問題。崩塌之崩落物質往往成為邊坡上不穩定之堆積土砂(何岱傑等，2014)，後續可能於強降雨事件中成為土石流之主要供應源(Soeters and Van Westen, 1996; Van D Eeckhaut et al. 2005; Dou et al., 2015)，對下邊坡地區造成極大危害，為集水區管理之重大問題。由於多數山區地處偏遠且不易到達，加之因氣候變遷使得極端降雨事件加遽，增加了崩塌與土石流等土砂災害的危害，據此本創新研究計畫提出一多元衛星測量方法，整合光學以及雷達衛星觀測資料，應用於崩塌地破壞面測量，並根據邊坡土砂堆積變動情形以評估其之穩定性，以期能對土砂災害防治工作提供助益。

第一節 計畫依據

本研究之依據為參照水保局 112 年度創新研究計畫公開徵求計畫領域之說明內容中所提之「新興科技應用——集水區不安定土砂區域判釋及量化評估方法研究」項目，其目標為「運用遙測或高精度數值地形，定期找出山區不安定土砂分布的位置，以及不安定土砂量化評估的方法，係防災之重要基礎工作」。以及項目「應用雷達衛星影像建立山區河道數值地形相關研究」中建議，「雷達衛星影像具有可穿透雲層等特性，如能使用雷達衛星影像建立河道地形，將可作為後續

土砂方法之快速且便利之特性，進行河道斷面或地形等測量，快速提供地形資料，作為保育治理規劃之參考。並建議計畫試驗區域以新竹秀巒崩塌、桃園光華崩塌及高雄玉穗溪等地點為主」(圖 1-1)。

本計畫申請二年期計畫，第一年期目標為：運用光學衛星資料建立新型影像指標，能應用於區判崩塌破壞面之基岩以及崩積材料等不穩定土砂，可用於快速偵測因崩塌造成之不安定土砂之分布；後續第二年期之目標為：應用以 InSAR 技術為基礎之高程測量方式，利用多時序雷達資料，分析崩塌破壞面之高程與斷面變遷。其總體目標為整合兩年期計畫成果，建立一崩塌地穩定性之量化評估方式。

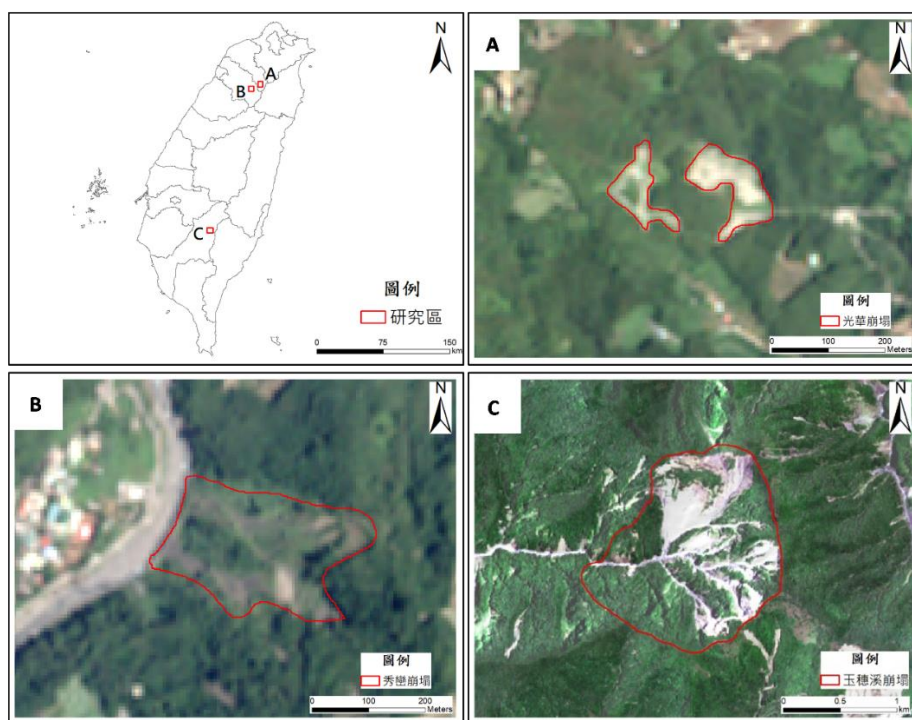


圖 1-1 研究區崩塌位置。(A)為桃園光華崩塌、(B)為新竹秀巒崩塌、(C)為高雄玉穗溪崩塌

第二節 計畫目的

本年度為第一年期，以「多元衛星測量方法應用於崩塌坡面地形變遷分析與穩定性評估」為題，本年度目標為運用光學衛星資料建立新型影像指標用於快速偵測因崩塌造成之不安定土砂之分布位置。具體研究問題為在崩塌事件後，崩落物質未必會立即由河道系統帶出至集水區外，可能堆積於崩塌破壞面上或河道中。在本研究中，這些崩積物則為集水區內不安定或稱不穩定之土砂，乃是由於這些崩積物可能墊高河道，容易成河道溢淹，且往往為暴雨時形成土石流之主要砂源，因此，若能正確界定其分布位置、面積，對防災工作有相當之助益。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

本年期為使用光學衛星資料來建立新型崩塌影像指標，此光學指標之功能期望能有效區判崩塌破壞面之母岩以及崩積土砂。本計畫提出之光學指標之建構乃是基於過去研究成果：利用光譜輻射儀(FieldSpec®3) 進行野外分析崩塌地出露之母岩、崩積土壤與岩屑的光譜連續性與吸收特徵時發現，可見光 (Visible Spectrum, VIS: 380-750 nm) 區間和短波紅外光 (Short-Wave Infrared, SWIR: 850-2500 nm) 反射率之間有明顯差異，而目前 Sentinel-2 多光譜衛星，則提供了 VIS 與 SWIR 的光譜資料，因此本研究認為可據此建立一新型光學指標，用以偵測影像中之崩塌堆積、土壤或岩屑，並配合多時序影像，界定其是否為穩定之堆積土砂。而本計畫之試驗區域則以農委會水土保持局建議之新竹秀巒崩塌、桃園光華崩塌及高雄玉穗溪此三處崩塌地點。

一、研究區概述

1. 新竹秀巒崩塌

新竹縣尖石鄉秀巒地區的大規模崩塌地(圖 2-1)落在石門水庫的集水區，位於竹 60 縣 31K 處秀巒部落的對岸邊坡，此處最早於民國 60-70 年間就曾有崩塌發生的情形，2016 年梅姬颱風過後又再度崩塌，

且崩塌範圍有擴大的趨勢，水保局隨即將此地列為大規模崩塌潛勢區（編號「新竹縣-尖石鄉-T001」），研判若再產生崩塌將影響部落安全，並於 2017 年開始進行現地調查，並建置監測設備。2021 年，秀巒地區由於 7 月至 8 月間多起強降雨颱風事件侵襲，邊坡含水量上升，邊坡已相當不穩定，於 9 月 13 日又因大量降雨而發生崩塌，崩塌土石淤積白石溪河道及其左岸的竹 60 線道路，因土砂阻塞河道形成堰塞湖，使水流溢淹道路且周圍有四戶民房受河道淤積溢淹影響，所幸沒有人員傷亡，同年 9 月 16 日又再次發生小型崩塌。

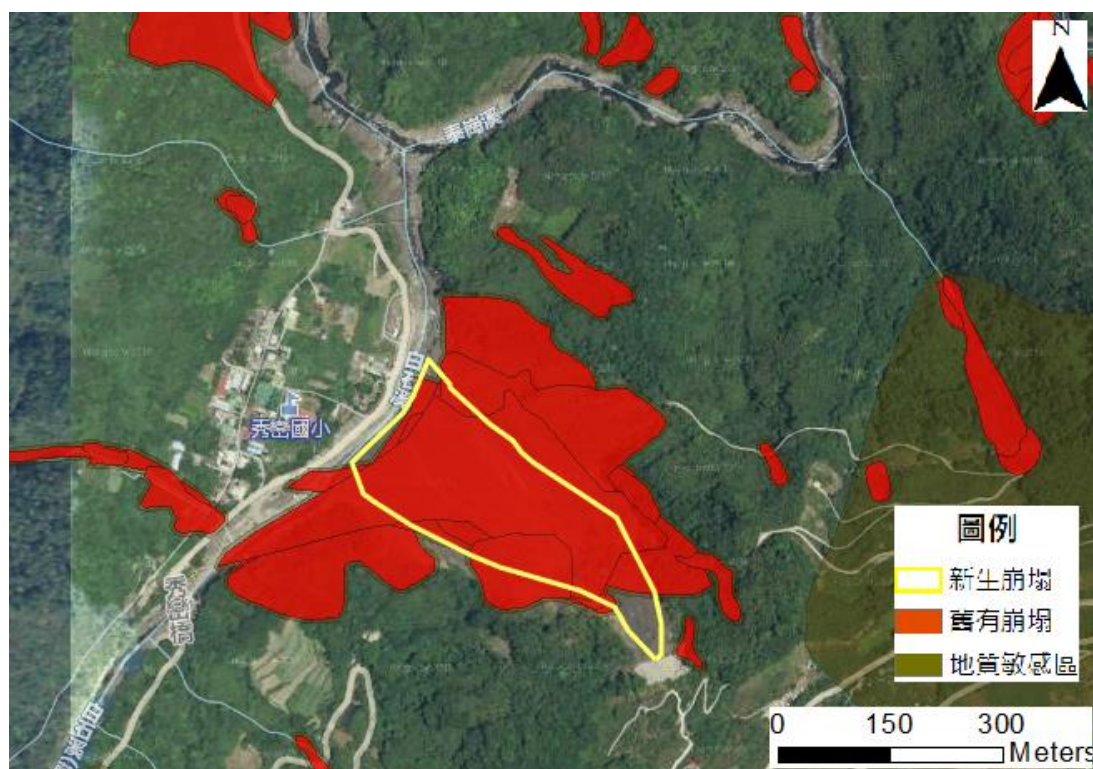


圖 2-1 新竹秀巒崩塌示意圖(行政院農委會，2021)

秀巒地區平均年雨量約為 1,924.1 毫米，降雨量主要集中在 5-9 月，平均月雨量達 200 毫米以上，該區地質為大桶山層，主要由硬頁岩、砂頁岩及砂岩組成，平均坡度約為 38°，並無鄰近斷層。

在 2016 年梅姬颱風時，就已造成面積達 8.3 公頃的崩塌，潛在崩塌量體約為 24.57 公頃，邊坡已經相當不穩定。此次崩塌的發生由於經歷 7 月至 8 月間多起大雨及颱風所帶來的強降雨，造成坡面滲水量增加，向源侵蝕增強，並夾帶土石滑落，導致坡面支撐力不足。2021 年 9 月的燦樹颱風帶來大量雨水，連日降雨致使白石溪溪水上漲，不斷沖刷河道坡腳，側向侵蝕淘刷作用力增強，造成邊坡上土方產生滑動，導致邊坡整體失穩，於舊有的崩塌地的基礎上，新生一處面積約為 4.2 公頃的崩塌，崩落砂石於河岸堆積，面積約 0.96 公頃，並形成一面積約 2.8 公頃的堰塞湖，如圖 2-2、圖 2-3。

由於崩塌過後地形已大幅改變，且在監測下掌握坡面開始產生開列變形，顯示秀巒地區邊坡仍未完全穩定，再次誘發崩塌的機率較高。



圖 2-2 秀巒崩塌現況(影像日期 2021/09/11，資料來源：土石流及大規模崩塌防災資訊網)



圖 2-3 秀巒崩塌現況(影像日期 2021/09/11，資料來源：土石流及大規模崩塌防災資訊網)

2. 桃園光華崩塌

桃園光華崩塌位於桃園市復興區光華地區邊坡，此崩塌長期（2002 年迄今）有持續滑動情形，為水土保持局土石流防災中心長期監測的大規模崩塌潛勢區(圖 2-4)，其範圍約為 12.3 公頃，滑動深度約 5 至 27 公尺，並已於 2015 年 12 月經公告為桃園市山崩與地滑地質敏感區(L0011)，水保局亦將其列為大規模崩塌潛勢區（編號「桃園市-復興區-T002」）。在 2021 年初監測期間發現邊坡約 3.4 公頃主要滑動區產生顯著滑動現象，且其變位速率有增加的趨勢，甚至 2 月 2 日單日位移高達 40 公分。

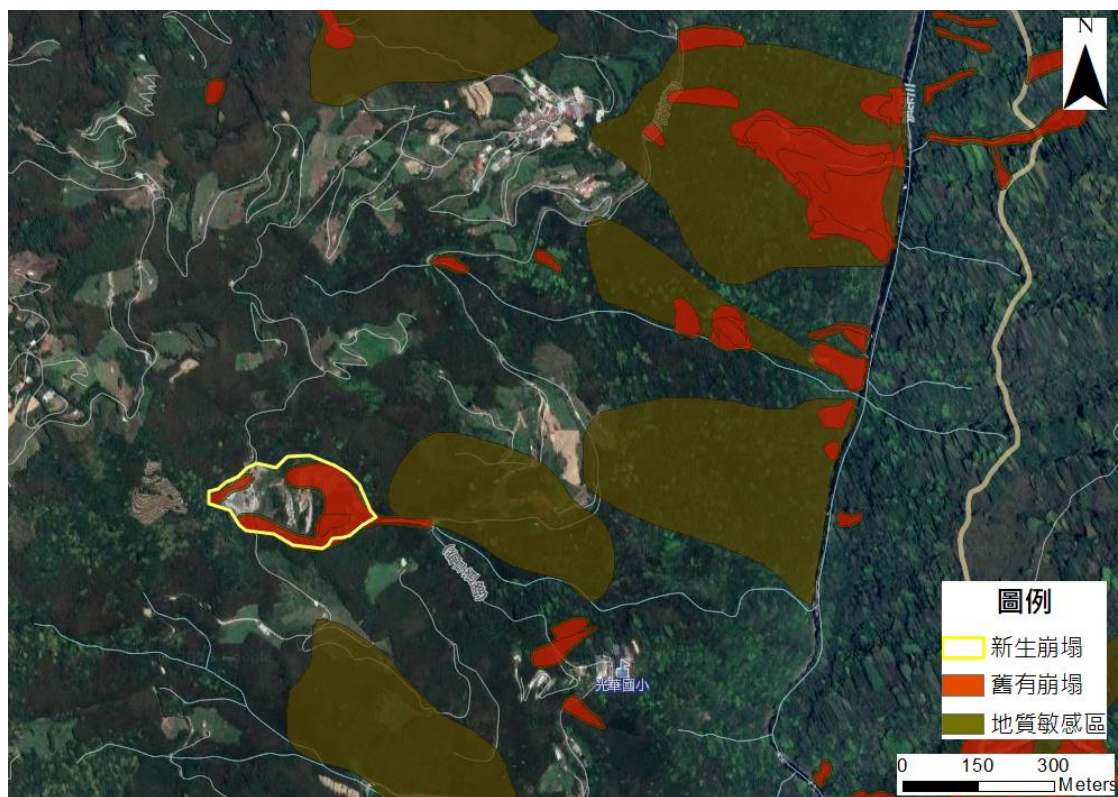


圖 2-4 桃園光華崩塌示意圖(行政院農委會，2021)

此處位於水長流層（巴陵層），以硬頁岩為主，偶夾細粒沙岩，地質年代屬漸新世晚期，崩塌地位置有一背斜軸通過，崩塌地坡面向東傾斜，整體坡度超過 40° ，崩塌地附近出露硬頁岩為主，岩層層面向西傾斜，與地形坡向相反，為一逆向坡。

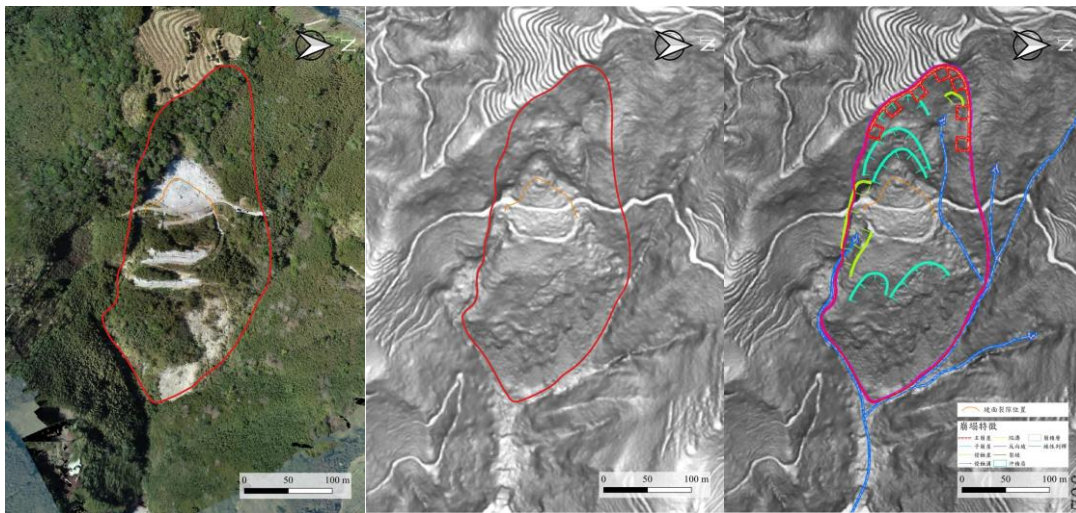


圖 2-5 光華崩塌地形特徵。左圖為空拍正射影像，拍攝日期為 2021/02/05；中間為地形坡度圖；右圖為崩塌特徵，照片右方為北，橘線為現地坡面與道路裂隙位置(參考來源：行政院災害防救辦公室，2021)

此處主要崩塌類型為岩屑層內滑動，其潛在崩塌量體為 92,000 立方公尺，目前崩塌已導致光華農路中斷，若再次崩塌恐導致土石材料下移，因束口高差，土砂堆積右側坑溝地形，多餘土砂再往下方坑溝運移導致光華道路中斷，最後運移到下方三光溪支流，恐有影響石門

水庫淤積及自來水品質之疑慮，如圖 2-6 所示。而光華崩塌目前以噴漿方式對崩塌處進行保護，但仍有發生破壞且持續崩滑的現象，如圖 2-7。

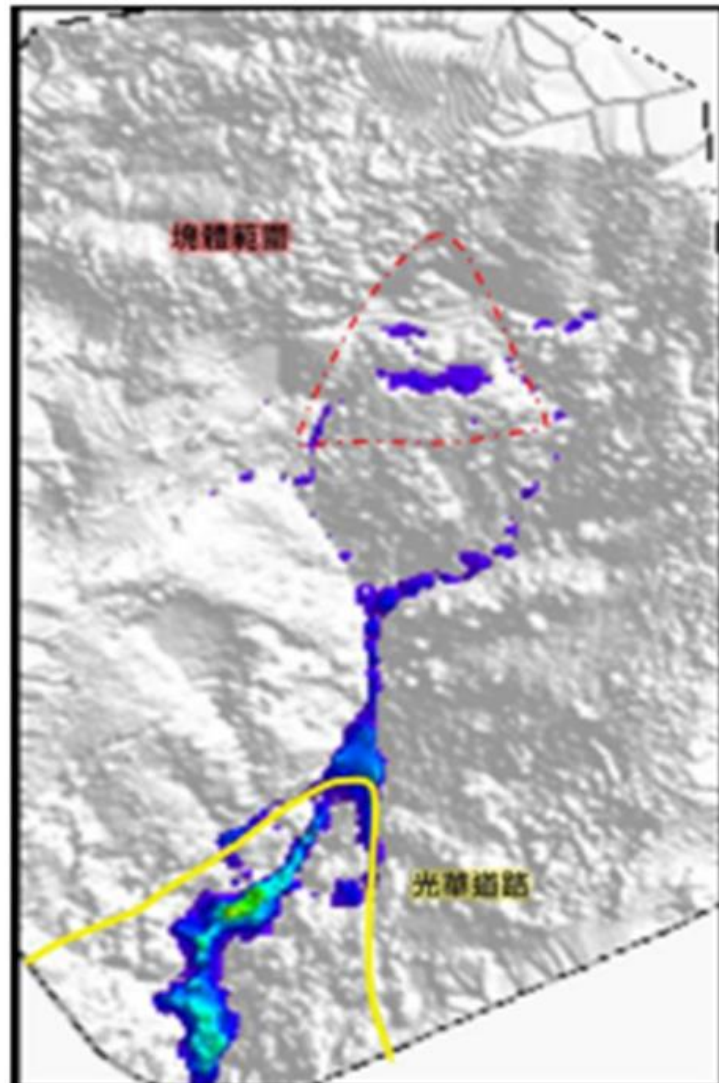


圖 2-6 崩塌土方影響範圍成果分析圖(資料來源：土石流及大規模崩塌防災資訊網)

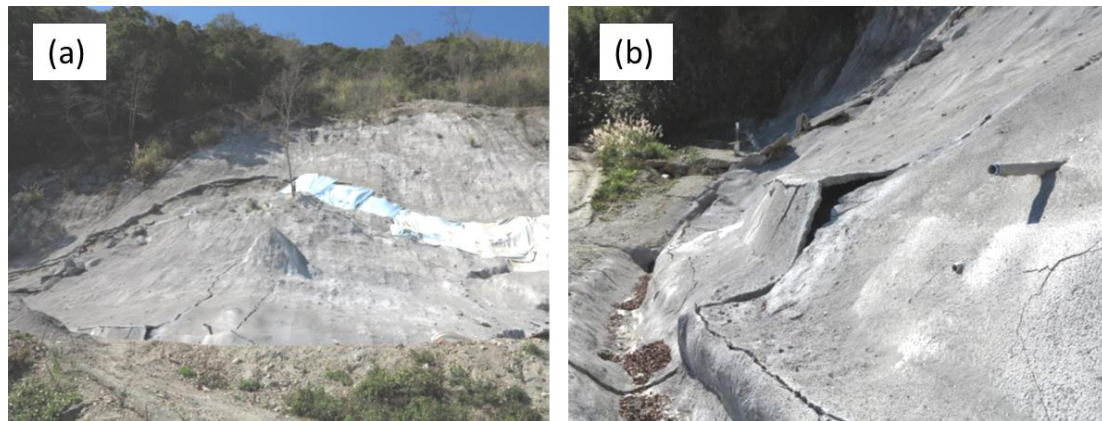


圖 2-7 光華崩塌坡面噴漿，(a)上邊坡噴漿處發生破壞並持續崩滑，
(b)噴漿表面因坡體滑動而受擠壓隆起(影像日期 2021/02/05，資料來源：行政院災害防救辦公室，2021)

3. 高雄玉穗溪上游崩塌

玉穗溪上游崩塌(圖 2-8)位於高雄市桃源區，為荖濃溪一支流。荖濃溪於布農族語中意為「兇猛不定的河水」，鄰近支流存在著活躍的土石流活動，包括水保局公告之 4 條土石流潛勢溪流(編號分別為 DF060、DF061、DF082 及 DF110)及地調所亦將沿線兩岸的清水溪、美秀溪、玉穗溪及東莊溪劃設為土石流溪流(圖 2-9)。

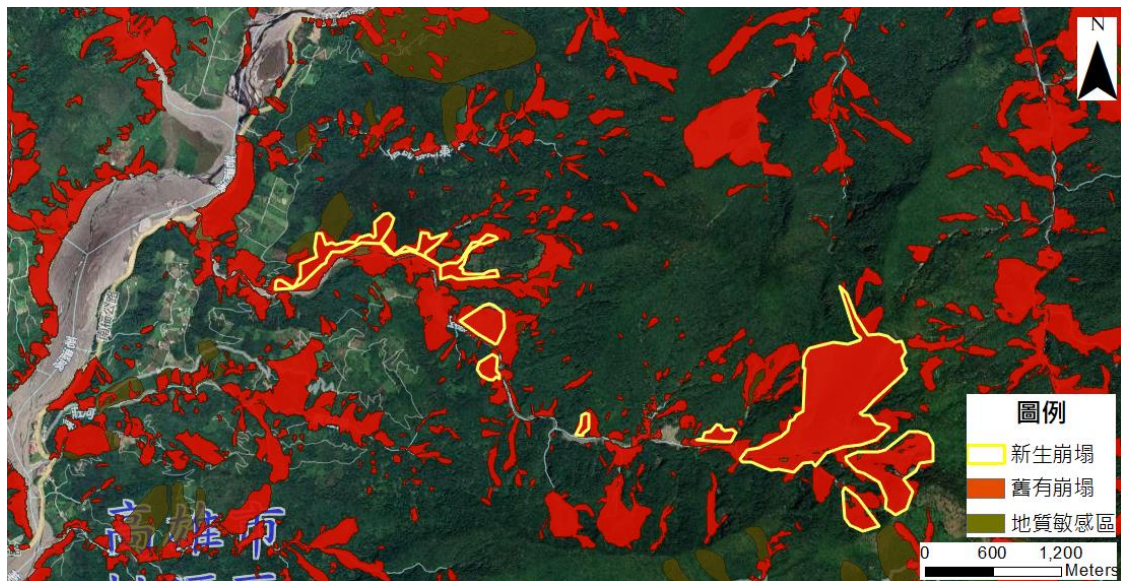


圖 2-8 玉穗溪崩塌位置示意圖



圖 2-9 荖濃溪周邊水系及潛勢溪流分布圖(參考來源：中華技術期刊

第 119 期，P180-195)

2021 年受到盧碧颱風影響，玉穗溪流域於 7 月 31 日至 8 月 8 日間累積雨量高達 2,216 毫米，強大的雨水夾雜大量泥沙形成土石流並於 8 月 7 日沖毀台 20 線的明霸克露橋，唯一的聯外道路受阻使得許多部落居民受困，形成一座孤島。

玉穗河流域平均年雨量為 3,541.5 毫米，雨季以 5~6 月的梅雨季與 7~9 月的颱風季為主，降雨量集中在 5~9 月，平均月雨量均達 400 毫米以上，豐枯季明顯。主流荖濃溪於 2009 年莫拉克風災後，已淤高 30 公尺，當時布唐布那斯溪上游產生大面積崩塌，大量土砂沖刷下來形成大片沖積扇，壓縮荖濃溪主河道寬度，迫使荖濃溪向河谷左岸台 20 線山壁侵蝕，而玉穗溪口正好位於主流內凹處及兩側階地之間。玉穗溪上游為畢祿山層與潮州層，其岩性分布多以板岩與硬頁岩為主，因板岩劈理發達故地層較為破碎，平均坡度約為 18° 。

藉由多期 SPOT 影像顯示(圖 2-10)：2007 年玉穗溪河道內並無明顯崩塌；2010 年影像顯示自莫拉克風災後，集水區內已新生多處崩塌地；2020 年影像顯示其源頭型崩塌裸露擴大，且河道已經開始堆積土砂；在 2021 年經歷本次強降雨事件後，使源頭型崩塌及西側河岸型崩塌皆顯著擴大，且由於狹長溪谷長年堆積崩塌材料，受到本次強降雨沖刷，河道堆積的土砂混合泥水形成土石流，一次性帶入谷口，沖毀明霸克露橋，河道上並無形成堰塞湖。此次降雨造成玉穗溪河道上產生多處大小崩塌，崩塌總面積擴大為 128.2 公頃，其中最大一處崩塌面積約為 49 公頃，共產生 1,107 萬方土砂量，匯流口堆積 202 萬方沖積扇，堆積高度約 11.9 公尺，最大高度約為 22.3 公尺。（本段彙整中華技術期刊 119 期台 20 線南橫公路勤和至復興路段複合災害

之工程處理對策、土石流及大規模崩塌防災資訊網 110 年防災成果報告及地質調查研究所 110 年 10 月玉穗溪地區崩塌現地報告編寫而成。)

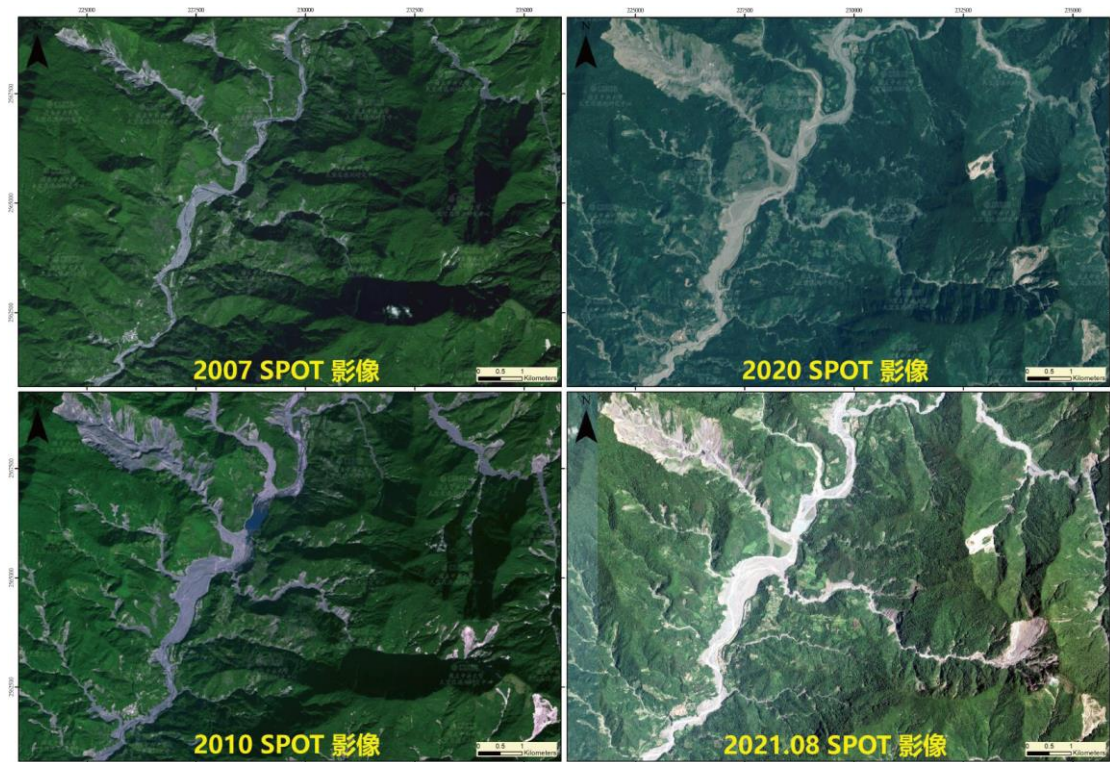


圖 2-10 玉穗溪歷年 SPOT 影像(2007、2010、2020、2021，參考來源：土石流及大規模崩塌防災資訊網)



圖 2-11 玉穗溪 8 月 7 日降雨事件後現況。(a)明霸克露橋毀壞後施工狀況，(b)玉穗溪河床大量土石堆積情形(照片為本計畫於 2021 年 10 月 24 日拍攝)

二、研究方法與資料

本計畫於本年期之目標為利用多時序光學影像建構一新型影像指標來進行崩塌判釋與穩定性分析。新型指標建構之基礎為利用已收集之崩塌現場之光譜特徵資料進行分析，同時也須依據分析成果來確立後續可應用之光學衛星資料。

1. 新型光學指標建構依據

本研究團隊於過去進行關於崩塌表面光譜資訊之收集工作，為使用美國 ASD 公司製造的高光譜解析度地物光譜儀 FieldSpec[®] 3 進行採樣，其光譜範圍從 350 nm 至 2500 nm，見表 2-1。ASD 光譜輻射儀可分為三個部分，光譜儀、電腦接口和光纖探頭。光纖探頭連接兩個附件，瞄準器及光纖放大鏡頭（圖 2-12a），並與手槍式握把組裝（圖 2-12b）。

表 2-1 FieldSpec® 3 波長配置

波長名稱	波長範圍
VNIR-SWIR1-SWIR2	350 ~ 2500 nm
VNIR only	350 ~ 1050 nm
VNIR-SWIR1	350 ~ 1800 nm
SWIR1 only	1000 ~ 1800 nm
SWIR1-SWIR2	1000 ~ 2500 nm
SWIR2 only	1800 ~ 2500 nm
VNIR & SWIR2	350 ~ 1050 nm and 1800 ~ 2500 nm

資料來源：FieldSpec® 3 User Manual (<http://www.asdi.com/>)

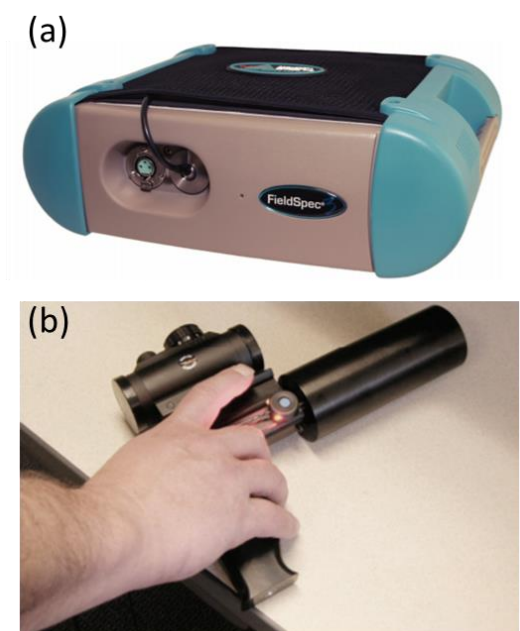


圖 2-12 FieldSpec® 3 (a) 高光譜地物光譜儀，(b)光纖探頭、瞄準器

及光纖放大鏡頭

本研究過去於「母岩裸露指標之建立並應用於崩塌判釋與監測」(羅子翔, 2020) 研究中進行現地調查收集光譜數據, 建立光譜資料庫, 共 360 個樣本。研究主要調查了崩塌地坡面常見的幾種類別, 包含植被、土壤或風化岩屑(soil and regolith, 由於兩者光譜特徵相近因此合稱)、母岩露頭(bedrock)、水體的光譜資料(圖 2-13)。光譜資訊主要調查於桃園、新竹、嘉義及高雄山區; 崩塌地的部分為, 有堆積於崩塌面或坡腳的材料, 來源包含自砂岩、粉砂岩、硬砂岩、頁岩崩落堆積的風化物及岩屑; 崩塌坡面上之母岩露頭的部分同樣來自上述主之砂岩、粉砂岩、硬砂岩和頁岩等岩性。研究發現不同岩性之風化岩屑之光譜特徵並無顯著差異, 在母岩露頭上亦然(Farooq and Govil, 2014)。

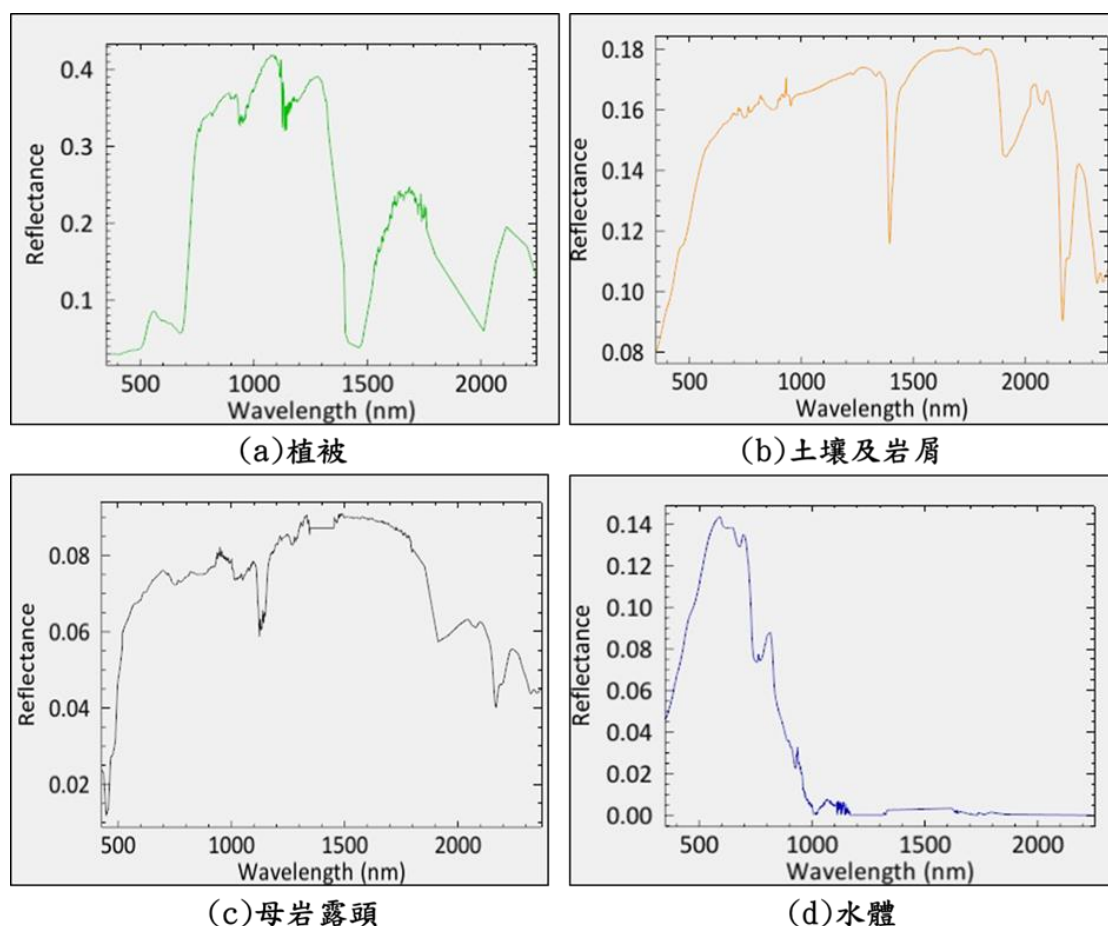


圖 2-13 現地量測四種主要地物的平均反射光譜（取 360 組樣本之平均值）

首先，在崩塌的野外環境之主要地物為植被、土壤（岩屑）、母岩、水體等情形下，就光譜特徵而言，植被在紅光、近紅外、短波紅外光（700~1400nm）有較高的反射率(reflectance)，而水體則有較多的吸收(absorption)，兩者光譜特徵明顯(Tucker, 1979; 王潤生, 2010)，容易以光學影像進行區分。

其次，關於岩屑和母岩的部分，在比對兩者的光譜特徵(圖2-14)

後，可以發現兩者在500 nm前後的差異較小，但於1700 nm附近的反射率有較大的差距，土壤及風化岩屑有較大的反射率。因此可以嘗試利用兩者差異不大的藍光(400~500 nm)以及差異較大的短波紅外光波段(1600~1800 nm)的光譜資料來建立一新型指標，將崩塌坡面之堆積岩屑與母岩區分開來。

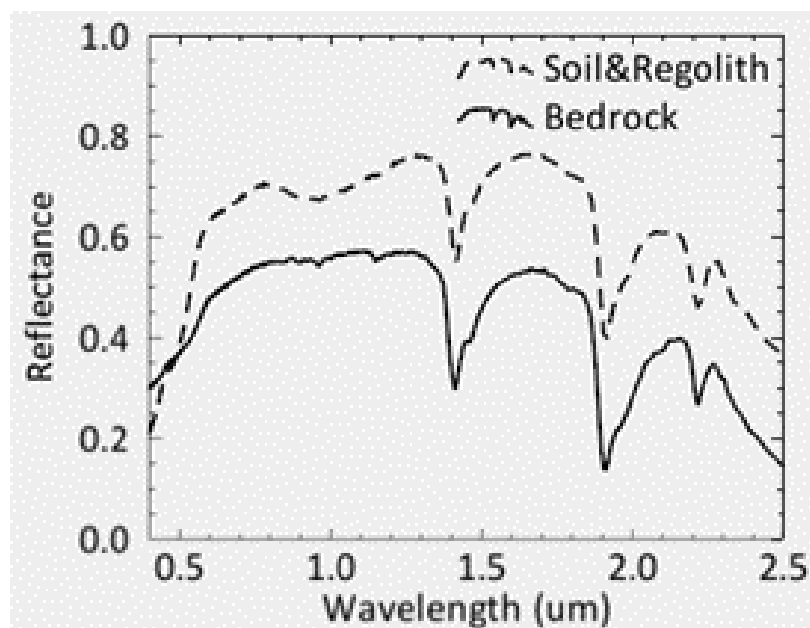


圖 2-14 土壤與母岩光譜特徵比較

最後，本計畫期望利用光學指標將岩屑與母岩於崩塌面上進行區分，其理由為：本研究假設暴露或堆積於崩塌面之土壤或風化岩屑，易受干擾(地震、強降雨、人為活動等)而移動、滑落，或以土石流的形式造成下邊坡區域的危害。因此本研究認為持續監測崩塌坡面之面積變化(擴大或恢復)以及岩屑殘留之狀況(面積新增或移除)則有助於

進行崩塌的穩定性的評估。

2. 光學影像選用

根據上述之光譜特徵，本計畫需考量收集同時具有藍光(400~500 nm)以及短波紅外光波段(1600~1800 nm)的光學影像以利後續光學指標之建構，且根據 Kosravi et al. (2022)的研究，FieldSpec[®] 3 對應 Sentinel-2 各波段的觀測資料有高度的一致性。據此，本研究考量使用 Sentinel-2 多光譜影像資料。

Sentinel-2 為歐洲太空總署 (ESA) 哥白尼地球觀測計劃 (Copernicus Programme) 研發的新型地球觀測衛星，具有寬幅範圍、多光譜成像、高時間解析度。Sentinel-2 任務由兩顆相同的衛星執行，Sentinel-2A 於西元 2015 年 06 月 23 日發射升空，Sentinel-2B 於西元 2017 年 03 月 07 日發射升空，為太陽同步軌道，軌道高度為 786 km，傾角 98.54° 重訪週期 10 天。任務目的包含空間規劃、農業環境監測、水質監測、森林和植被監測、自然資源監測、全球作物監測等。

Sentinel-2 多光譜影像，共有 13 波段，波長覆蓋範圍 443~2190 nm，其中空間解析度 10 公尺的有波段 2-藍光 (Blue)、波段 3-綠光 (Green)、波段 4-紅光 (Red)、波段 8-近紅外光 (NIR)，空間解析度 20

公尺的有波段 5-紅邊 1 (Red Edge)、波段 6-紅邊 2 (Red Edge)、波段 7-紅邊 3 (Red Edge)、波段 8A-紅邊 4 (Red Edge)、波段 11-短波紅外 1 (SWIR 1)、波段 12-短波紅外 2 (SWIR) 以及空間解析度 60 公尺的有波段 1-沿海氣膠 (Coastal aerosol)、波段 9-水蒸汽 (Water vapor)、波段 10-卷雲 (SWIR - Cirrus)。

Sentinel-2 常用的影像產品級別有 L1C 和 L2A，L1C 影像產品為經過正射化和幾何校正的大氣表面反射率產品，但沒有做大氣校正，另外 L2A 影像產品為經過大氣校正的大氣底層反射率資料，可以透過歐洲太空總署 (ESA) 提供的軟體 Sen2cor 或是利用 ENVI (5.3 以上) 影像處理軟體進行校正。

表 2-2 Sentinel-2A 衛星波段對照表

Sentinel-2 波段	中央波長(μm)	解析度(m)
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – Red	0.665	10
Band 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 – Water vapor	0.945	60
Band 10 – SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	20

(資料來源：EAS, www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2)

本研究使用 Sentinel-2 光學影像之前處理，主要包含輻射校準以及大氣校正，說明如下。

2.1 輻射校準 (Radiometric Calibration)

輻射校準為將影像中雜訊去除，並將影像產品之 DN (Digital Number) 值轉換成大氣層頂反射率 (top of atmosphere reflectance)，方法為利用下列公式進行轉換，其單位為 $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \text{ sr nm})$ ：

$$L = \text{gain} * \text{DN} + \text{bias (offset)} \quad (2-1)$$

其中 gain 為影像的增益，bias (offset) 為影像的偏移，輻射校準的參數可以在原始影像文件之 matadat 中查找，轉換後就能進行大氣校正，藉由輻射校準消除衛

星感測器本身的誤差。

2.2 大氣校正 (Atmospheric Correction)

由於大氣散射一些電磁能量，這些能量從太陽傳播到地球表面，再從地球表面傳播到感測器。在電磁能量傳播的過程受到大氣的影響，而感測器接收到的訊號無法反應出真實的地表反射資訊，如圖 2-15 所示，大氣校正試圖最小化臨近效應對影像的影響。為了檢視光譜輻射儀與高光譜衛星影像之光譜連續性與吸收特徵，必須對遙測數據進行大氣校正，以比較不同時相中提取的同一地物物理量，且使用高光譜影像進行光譜指標計算之前，大氣校正是不可缺少的，迄今已經開發了不少種大氣校正模式，本研究以 FLAASH (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) 大氣校正模式用於高光譜影像，FLAASH 是由 Spectral Sciences Inc.在美國空軍研究實驗室的贊助下開發，並使用 MODTRAN 4 (Moderate Resolution Atmosphere Transmittance and Radiance Code)的模組，主要目標是提供(1)以物理學的方式推導地面和大氣特性 (例如地面反照率、地面高度、水蒸氣柱、氣膠和雲的光學深度，地面和大氣溫度)、(2)最短的計算時間、(3)互動式用戶親和介面，用於運行 MODTRAN 計算(田豐，2010；Wu et al., 2010)。

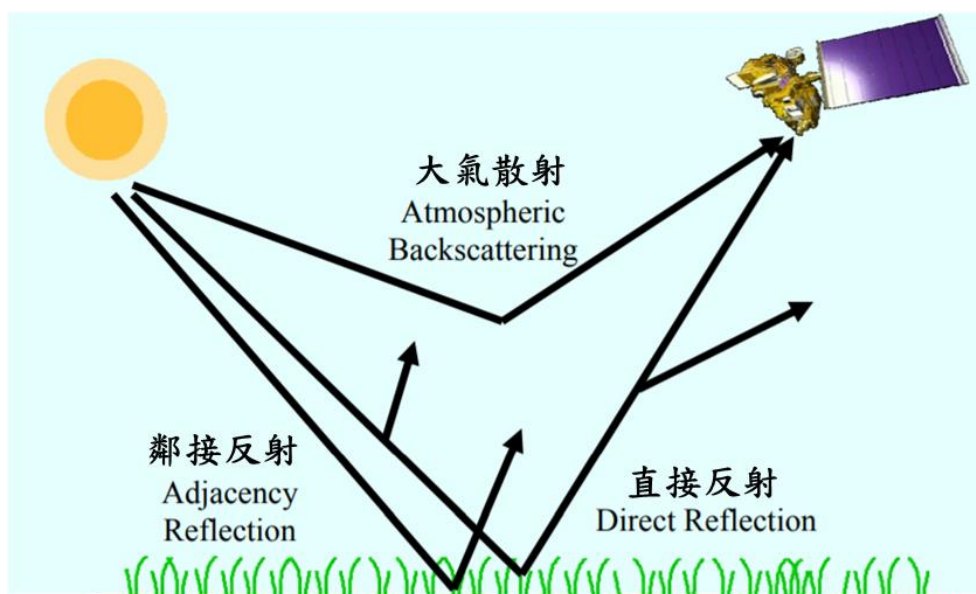


圖 2-15 大氣層對成像的影響示意圖

此模組雖然數據操作速度較慢，但可以獲得最佳校正結果 (Filchev et al., 2014; Kumar et al., 2017)，並利用下列公式轉換 (公式 2-2)：其中 ρ 為像元的地面反射率， ρ_c 為像元和周圍區域的平均地面反射率， S 為大氣的球面反照率， L_a 為大氣背向散射的輻射值， A 和 B 是取決於大氣和幾何狀態但不取決於地面的係數，為了降低結果儲存空間，將反射率乘於 10000，輸出反射率範圍 0~10000。

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_c S} \right) + \left(\frac{B\rho_c}{1-\rho_c S} \right) + L_a \quad (2-2)$$

其中 ρ 為像元的地面反射率， ρ_c 為像元和周圍區域的平均地面反射率， S 為大氣的球面反照率， L_a 為大氣背向散射的輻射值， A 和 B 是取決於大氣和幾何狀態但不取決於地面的係數，為了降低結果儲存空間，將反射率乘於 10,000，輸出反射率範圍 0~10,000。式 2-2 中

A、B、S 和 La 的值是根據 MODTRAN4 計算得出的，這些計算使用了視角和太陽角以及測量的地表平均高程，並且假定了特定的大氣模型、氣膠類型和可見範圍，詳見附件二。

第二節 研究執行步驟

一、工作流程

如前所述，本計畫之創新工作包含新型光學影像指標建立、利用多時序雷達影像進行崩塌面地形變遷分析以及建立崩塌地穩定性之量化指標。本計畫於本年期之主要工作步驟如下：(1)多時序光學影像資料收集與前處理，(2)影像指標建構並與傳統影像指標進行比較，(3)進行多時序崩積物分布變遷分析，(4)崩塌地影像指標應用性評估。

具體之工作為新型光學影像指標建立、利用多時序雷達影像進行崩塌面地形變遷分析以及建立崩塌地穩定性之量化指標。本計畫之工作流程如圖 2-16 所示。

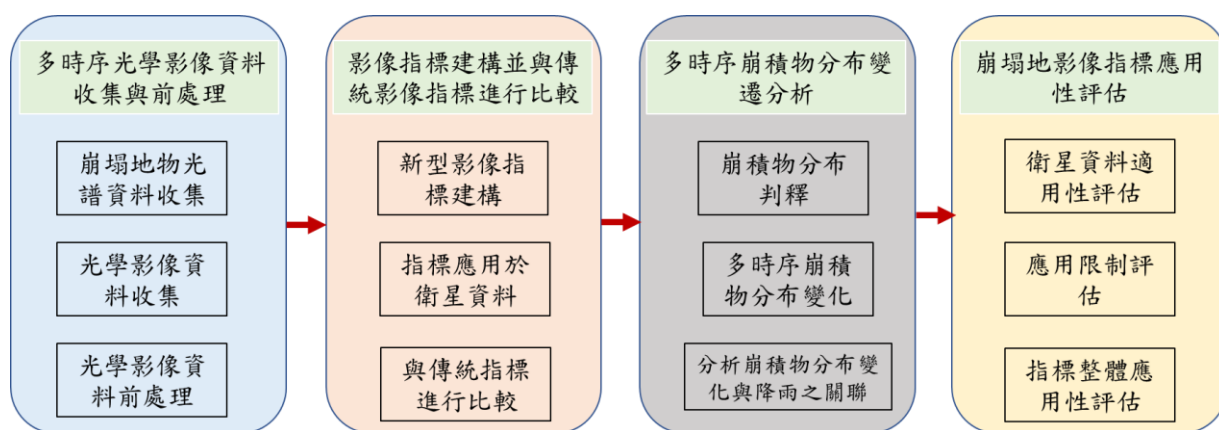


圖 2-16 工作執行流程圖

二、計畫整體工作說明

本計畫為申請兩年期計畫，規劃未來之第二年期之工作內容為應

用 InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)為基礎之崩塌破壞面高程測量工作，用以分析地形與斷面變遷，並結合第一年計畫成果以建立崩塌地穩定性之評估方式。目前規劃此第二年期所應用之高程測量方法為本團隊於 111 年水保局創新計畫「精進雷達衛星 InSAR 技術於河道侵淤高程變化測量」提出之 InSAR 高程測量技術，其方法為整合地面控制點資訊、衛星測量參數與機器學習演算法以精進高程測量結果(過去成果之精度為 RMSE 為 1-2 公尺)。計畫將使用 Sentinel-1 多時序雷達衛星影像建立崩塌地形資訊，作為後續崩塌破壞面地形變遷分析的基礎。

上述兩年期計畫之主要關聯為：第二年期計畫在分析上必須藉由第一年期崩塌破壞裸露面判釋之成果，來規範 InSAR 分析的目標區域，以避免因山區植被對 Sentinel-1 資料造成 InSAR 分析上之去相關問題(decorrelation)。另外，本研究期望結合兩年期之研究成果來建立一崩塌地之穩定性評估方式，此方法將考量崩塌坡面之崩積物侵淤變化以及植生恢復情形等條件，建構一量化指標進行評估。

第三章 工作進度與研究成果

第一節 計畫進度

本計畫本年期規劃之主要工作項目如下：(1)多時序光學影像資料收集與前處理，(2)影像指標建構並與傳統影像指標進行比較，(3)進行多時序崩積物分布變遷分析，(4)崩塌地影像指標應用性評估。

本計畫本年期之具體進度為：完成第一項工作「多時序光學影像資料收集與前處理」；第二階段部分為已完成新型影像指標之建構，且與傳統影像指標——標準化差異植生指數(Normalized Difference Vegetaiton Index, NDVI)、增強植生指數(Enhanced Vegetation Index, EVI)、標準化差異水體指數 NDWI (Normalized Difference Water Index) 進行比較；第三部分的崩積物(崩塌破面上之土壤或岩屑)之多時序分析為利用 Sentinel-2 影像完成高雄玉穗溪、新竹秀巒、桃園光華等三處崩塌之時序分析；最後第四部份之指標應用性評估工作之成果，本研究在 WLSI 的多時序資料基礎上發展了動態的邊坡穩定分數(Temporal Slope Stability Score, TSscore)，成果可以正確界定出新增崩塌之發生時機，並可用以判釋崩塌發生後之邊坡持續不穩定的區域。各項研究成果詳述於下節。

第二節 研究成果

一、多時序光學影像資料收集與前處理

本計畫針對三個研究區，新竹秀巒崩塌、桃園光華崩塌以及高雄玉穗溪崩塌分別收集 2019 年至今(2023 年 11 月分)之 Sentinel-2 光學無雲影像。其中光華地區共 102 幅、秀巒地區 156 幅、玉穗溪 83 幅。

本研究除完成影像前處理外，另外針對 Sentinel-2 於 2020 年 4 月 30 日秀巒地區拍攝之影像產製 NDVI、EVI 以及 NDWI，來與本研究提出之光學指標進行比較。使用該日期之影像理由為本研究過去曾於當日於秀巒崩塌地進行野外調查，並進行無人機拍攝，因此具有可供驗證新型影像指標以及與傳統指標比較之資料，將詳述於後節。關於傳統植生指標的計算，首先為 NDVI，其計算公式如下：

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (3-1)$$

式中 R_{NIR} 為近紅外光波段； R_{RED} 為紅光波段，該指數可突顯近紅外波段與紅色波段的差異從而呈現植物的生長狀態，數值介於 -1 和 1 之間，一般來說，NDVI 小於 0 時為裸露地表或是水體，大於 0.7 時為非常茂密的植被。其次為 EVI，計算方式如下：

$$EVI = G \times \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + C_1 R_{RED} - C_2 R_{BLUE} + L} \quad (3-2)$$

式中 R_{NIR} 為近紅外波段、 R_{BLUE} 為藍光波段， R_{RED} 為紅色波段； C_1 和 C_2 為氣溶膠係數； L 為冠層背景因子； G 為增益係數，EVI 是為了增強高

生物量區域的植被信號，並通過冠層背景因子和氣溶膠係數來改進植被監測，減少氣膠對衛星觀測的影響。針對上述參數，美國地質調查局(U.S. Geological Survey, USGS)針對 Landsat 系列衛星提供之建議參數為 $G=2.5$ 、 $C_1=6$ 、 $C_2=7.5$ ，以及 $L=1$ ，此參數組也廣泛應用於 Sentinel-2 影像於 EVI 的計算上(Ma, T. et al. 2023)。最後為 NDWI，此指標和植被含水量有很強的相關性，其計算之表示如下：

$$NDWI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}} \quad (3-3)$$

式中 R_{NIR} 為近紅外光波段； R_{SWIR} 為短波紅外光波段；NDWI 的範圍介於-1 到 1 之間，一般來說，-1 到 0 為沒有植被或沒有含水的物體，0 以上代表含水的物體。

二、新型崩塌地影像指標

1. 指標說明與計算

本研究提出的新型崩塌地影像指標，主要為利用藍光波段以及短波紅外光波段來進行建構(說明見第二章第二節)來表現土壤及風化岩屑與母岩的光譜特徵差異。另外，此指標也考量加入不同植生指標(vegetation index, VI)，藉以將植生、水體的區分功能引入。本研究稱此指標為「崩塌樣態權重指標(Weighted Landslide State Index, WLSI)」，其計算公式如下所示：

$$WLSI = K_1 \cdot \frac{R_{\lambda}(1648 \text{ nm}) - R_{\lambda}(518 \text{ nm})}{R_{\lambda}(1648 \text{ nm}) + R_{\lambda}(518 \text{ nm})} + K_2 \cdot VI \quad (3-4)$$

式中 $R_{\lambda}(518 \text{ nm})$ 為波長 518 nm (藍光) 的反射值、 $R_{\lambda}(1648 \text{ nm})$ 為波長 1648 nm (短波紅外光) 的反射值。選取此兩波長之原因為在本研究野外現地量測資料中(見第二章第二節)，於波長 518 nm 處岩屑與母岩之差異最小，在波長 1648 nm 處則有最大差異；因此式中的前項(第一項)可視為岩屑-母岩之區判項，而第二項為植生指數(VI)，主要可用於界定植生。此外，上式中之 K_1 與 K_2 分別為第一項岩屑-母岩區判項之權重以及第二項植生指數之權重，兩者相加為 1，而第二項之植生指數部分可應用 NDVI、EVI 等值域在 -1~+1 之間的植生指標，而 WLSI 之值介域同樣也界於 -1 到 1 之間。

就此式的設計，若 K_1 與 K_2 均給定相同權重 (均為 0.5) 時，當 WLSI 值越靠高(>0.5)則為偏向代表植生，當 WLSI 為 0~0.5 之間時則應為土壤岩屑與母岩，其中土壤岩屑之 WLSI 值應要高於母岩，當 WLSI < 0 時則應為水體。

2. 指標地物分類

為能進一步應用此指標來對崩塌面上之各種可能樣態進行區分，本研究利用過去野外量測之四種不同地物之光譜資料(植被、土壤岩屑、母岩露頭、水體)來計算崩塌樣態權重指標(WLSI)。此計算中之 K_1 與 K_2 為給定相同權重 (0.5)，並以 NDVI 作為計算用之植生指數，

則各地物計算結果之統計值可見表 3-1。

根據上述之統計結果，本研究認為可以下列 WLSI 數值進行不同崩塌地樣態之區分：(1)水體： <0 ，(2)母岩露頭： $0\sim0.2$ ，(3)土壤(岩屑)： $0.2\sim0.5$ ，(4)植被： >0.5 。根據圖 3-1 之統計成果值之盒狀圖可以發現，就本研究之現地資料而言，各類地物具有相當明顯之區分閾值。

表 3-1 四類地物之崩塌樣態權重指標計算統計

地物	最大值	最小值	平均值	標準差	樣本數
植被	1.00	0.65	0.84	0.099	35
土壤 (岩屑)	0.50	0.20	0.37	0.082	102
母岩露頭	0.15	0.01	0.09	0.037	139
水體	-0.01	-0.21	-0.10	0.039	84

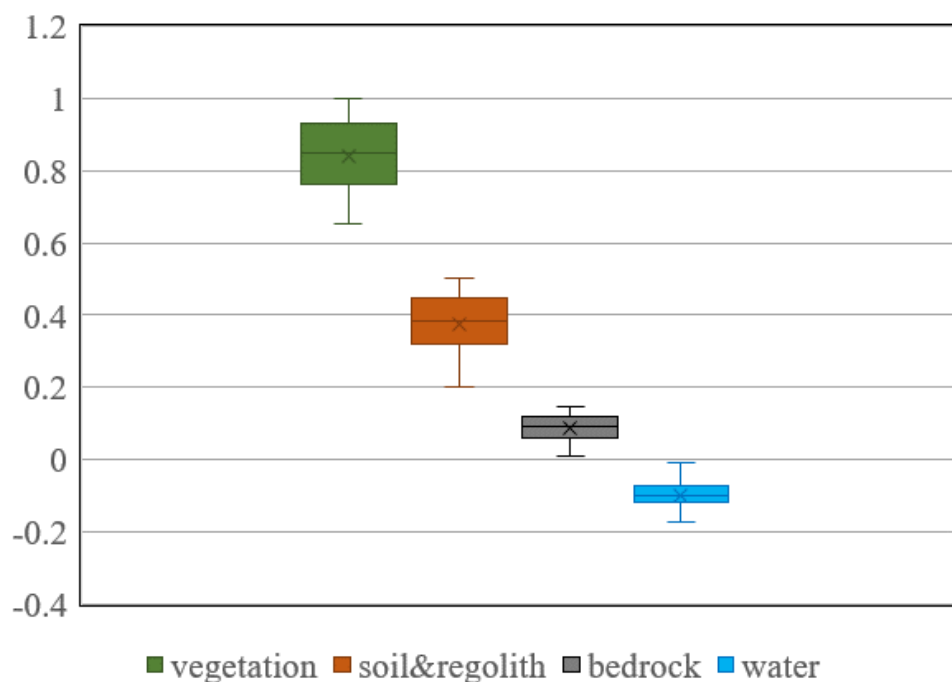


圖 3-1 四種地物之崩塌樣態權重指標統計盒狀圖：植生
(vegetation)、土壤及岩屑(soil®olith)、母岩(bedrock)以及水體
(water)

3. 指標分類比較

本研究為比較不同的影像指標對於前述四種地物之區判性，本研究使用 Jeffreys-Matusita (J-M) distance 進行光譜分離性(Spectral separability)之分析(Kailath, 1967)。具體來說，對兩地物來說，若 J-M distance 越大，則說明其光譜分離性越高，也就是說該影像指標對此兩地物有較佳的區分能力，計算方法表示如下：

$$J_{xy} = 2(1 - e^{-B}) \quad (3-5)$$

上式之 J_{xy} 即為 J-M distance，xy 為註記兩種不同之第物類別。上式中

之 B 為巴氏距離(Bhattacharyya Distance)，計算方式如下：

$$B = \frac{1}{8}(X - Y)^t \left(\frac{\Sigma x + \Sigma y}{2} \right)^{-1} (X - Y) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\left| \frac{\Sigma x + \Sigma y}{2} \right|}{|\Sigma x|^{\frac{1}{2}} |\Sigma y|^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (3-6)$$

上式 X 及 Y 代表類別組的平均向量(mean vector)， Σx 及 Σy 為兩類別之共變矩陣 (covariance matrix)， t 為矩陣轉置符號。J-M distance 的數值範圍在 0~2 之間，若四種地物的 J-M 距離值越趨近於 2，表示地物分離性越高，J-M 距離大於 1.9，具有很好地分離性， $1.8 < J-M < 1.9$ ，能適當的分離，J-M 距離小於 1.8，則不可分離。

本研究選擇了 NDVI、EVI、NDWI 與本研究所提之 WLSI 進行 J-Mdistance 計算並對四類地物進行兩兩比較，成果如表 3-2 所示。分析結果顯示，所有指標中僅 WLSI 能有效區判母岩跟土壤岩屑，且整體上於四個類別之間有較佳區分能力。

表 3-2 J-M distance 比較分析成果

類別對比	指標			
	WLSI	NDVI	EVI	NDWI
母岩 vs 土壤岩屑	1.999	1.582	1.562	1.790
母岩 vs 植被	2.000	2.000	1.999	1.999
母岩 vs 水體	1.998	1.964	1.961	1.962
土壤岩屑 vs 植被	1.999	1.999	1.991	1.999
土壤岩屑 vs 水體	1.999	1.980	1.987	1.996
植被 vs 水體	2.000	2.000	2.000	2.000

4. 指標應用於 Sentinel-2 影像

本研究建立之崩塌樣態權重指標(WLSI)，應能有效觀察崩塌坡面上母岩露頭以及土壤岩屑堆積之情形。在衛星資料的應用上，本計畫為應用 Sentinel-2 影像資料中擷取 WLSI 計算所需的光譜資料，其波段 2 (Band 2)、波段 11(Band 11)的波長與本研究中選定的波長 518 nm 與 1648 nm 相近(見表 2-2)。在植生指標則使用 NDVI，則需波段 4 (Band 4)的紅光波段以及波段 8(Band 8)的近紅外光波段，因此 WLSI 之計算公式可針對 Sentinel-2 資料改寫如下：

$$WLSI = K_1 \cdot \frac{\text{Band 11} - \text{Band 2}}{\text{Band 11} + \text{Band 2}} + K_2 \cdot \frac{\text{Band 8} - \text{Band 4}}{\text{Band 8} + \text{Band 4}} \quad (3-7)$$

在計算上式時必須注意，所有使用之波段除 Band 11 為 20 公尺(空間解析度)之資料，其餘均為 10 公尺，因此本研究在計算 WLSI 前，先行將 Band 11 以 Cubic Convolution 方法將其重新採樣(resampling)至 10 公尺。

為比對 Sentinel-2 計算之 WLSI (K_1 與 K_2 均為 0.5)以及實際崩塌坡面上之岩屑與母岩分布狀況，本研究使用於 2020 年 4 月 30 日之無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)於新竹縣尖石鄉拍攝之秀巒崩塌地的正射影像(空間解析度 0.35 cm)，配合當日於現場針對坡面上岩屑與母岩之調查，將崩塌地區分成無崩積、無土壤、岩屑殘留之母岩露出部分以及其他有部分材料殘留的部分區分開來，成果如圖 3-2。

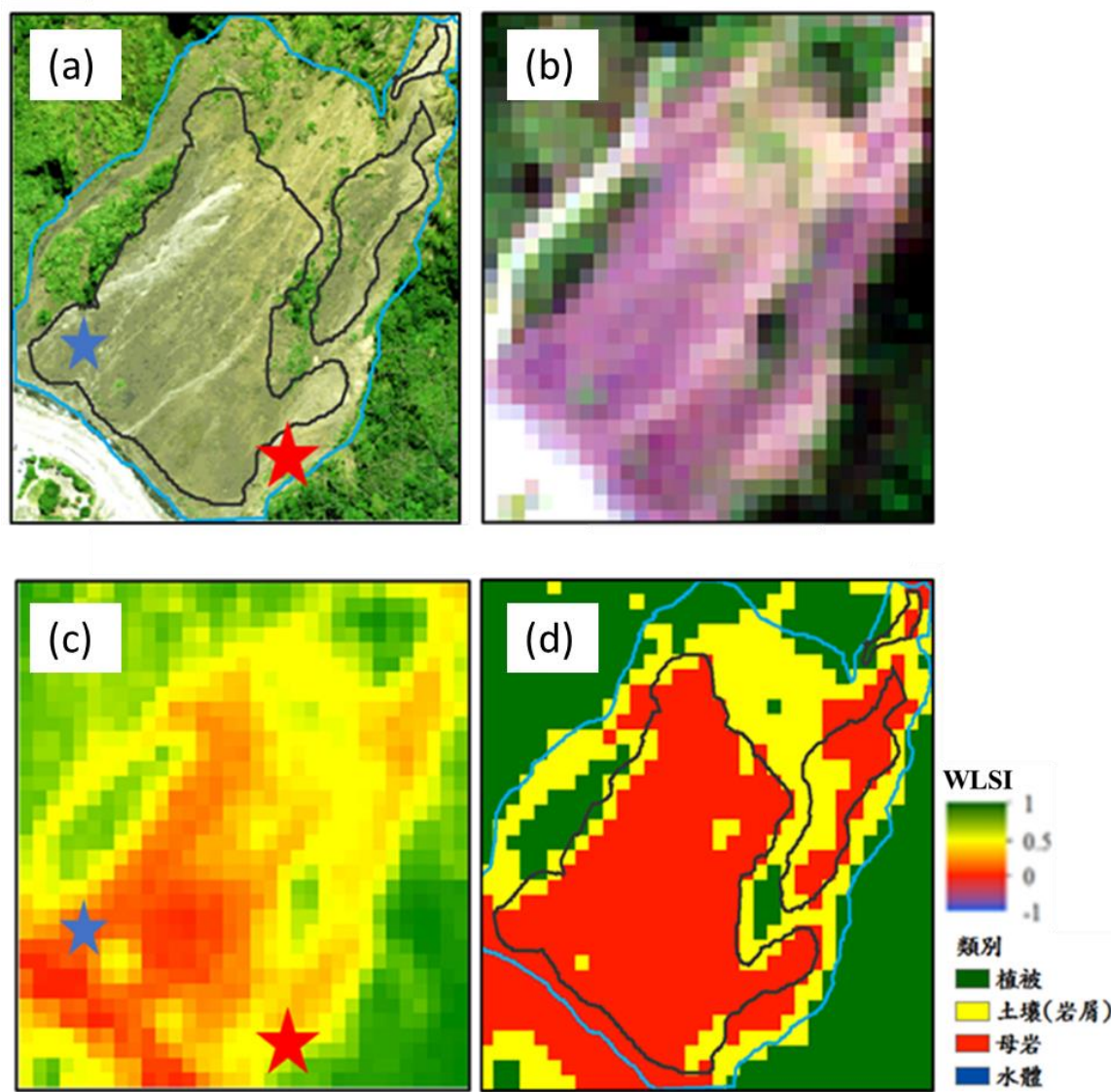


圖 3-2 秀巒崩塌 WLSI 與 UAV 影像分類之比對。(a)航照影像上淺藍色實線為野外現場測繪之崩塌範圍，黑色為實線為母岩出露位置，(b)為 Sentinel-2 影像(拍攝時間 2020 年 04 月 30 日)，(c)為 WLSI 計算成果，(d)為將 WLSI 分為植被、土壤岩屑、母岩及水體等四類。

比對現場調查之土壤岩屑與母岩之分布情形，大致與 Sentinel-2 的分類成果相符。此成果顯示崩塌面中間以呈現母岩出露的狀態，而崩塌周圍則還有土壤或岩屑分布，尤其崩塌頂部位置，後續可能成為崩塌土砂的供應源。

另外，根據圖 3-2a 的土壤岩屑與母岩的區分範圍，本研究同樣利用 Sentinel-2 資料分別統計土壤岩屑以及母岩之 WLSI、NDVI 以及 NDWI 之指標數值分布情形(見圖 3-3)，可以發現 WLSI 依然能較好地將土壤岩屑以母岩進行區分。

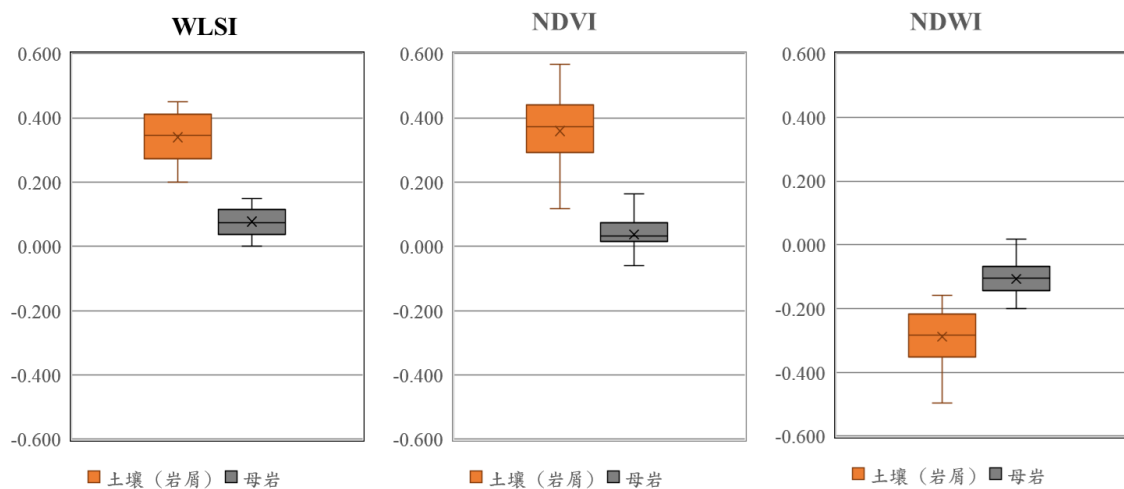


圖 3-3 WLSI、NDVI、NDWI 之土壤岩屑與母岩之指標數值盒狀圖

三、多時序崩積物分布變遷分析

1. 多時序崩塌樣態權重指標(WLSI)分析

針對崩塌坡面之多時序崩積物分布變遷分析，本研究應用崩塌樣態權重指標(WLSI)進行多時序分析，考量光學影像之雲霧遮蔽問題，本研究先藉由 Google Earth Engine (GEE)的 cloud mask 技術針對研究區域內去除薄雲並收集產出的無雲影像，後續則利用 WLSI 將水體、土壤及岩屑、出露的母岩與植被加以區分。本研究進行多時序分析之目的為在於持續監測崩塌坡面之面積變化以及土壤岩屑殘留之狀況(面積占比)，其理由為本研究認為堆積於崩塌面之土壤或風化岩屑，易成為崩塌土砂的來源，甚至於強降雨時，可能形成土石流而影響下游的區域。而此多時序之監測資訊應有助於進行崩塌穩定性的評估。下圖 3-4 為本研究三處崩塌地的 WLSI 計算結果範例，並將其分成植被、岩屑、母岩及水體四類。

圖 3-4 可以發現，各崩塌所在之坡面面積不一，其中玉穗溪崩塌地面積最大，其分析之坡面為 75.6 公頃，其次為秀巒崩塌 9.3 公頃以及最小的光華崩塌，僅約 1.5 公頃。此三處崩塌地之各期 WLSI 及其分類成果可見附錄三。

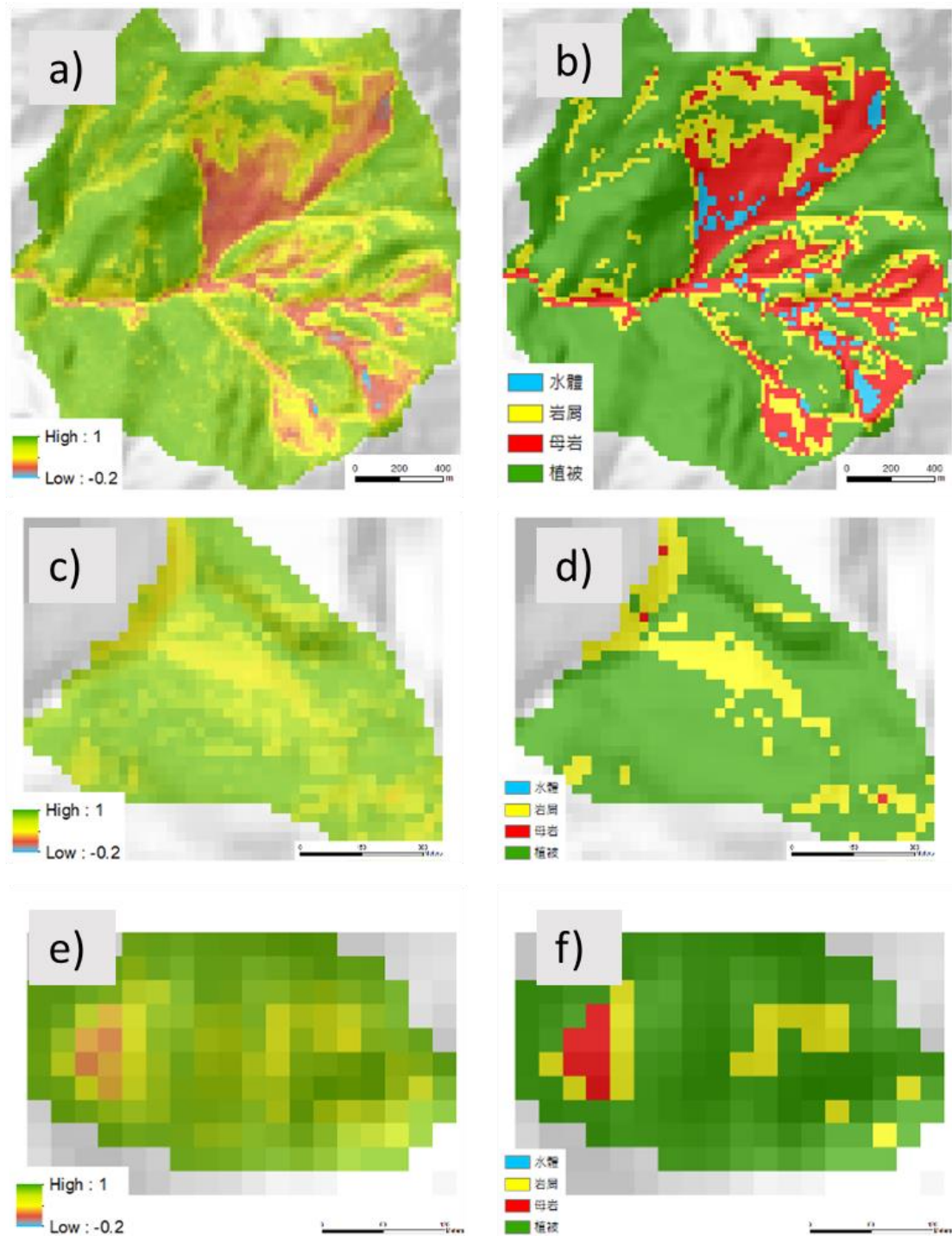


圖 3-4 WLSI 與地物分類範例。(a)為玉穗溪崩塌 WLSI，(b)為玉穗溪崩塌地物分類，(c)為秀鑾崩塌 WLSI，(d)為秀鑾崩塌地物分類，(e)為光華崩塌 WLSI，(f)為光華崩塌地物分類

2. 崩積物分布變遷分析

本研究後續利用 WLSI 之地物分類成果，計算三處崩塌地中岩屑以及母岩之面積時序變化，並配合日雨量資料進行分析。本研究使用之雨量測站分別為光華－蘇樂測站、秀巒－田埔分校測站、玉穗溪－復興測站。分析時距為 2019 年 1 月 1 日至 2023 年 10 月 31 日將近五年的觀測期程，如圖 3-5 所示(秀巒崩塌之可取得雨量資料僅至 2022 年 10 月 31 日)。

圖中光華崩塌並無顯現明顯之變動，且在 2020 年中至 2021 年底期間僅取得少數之無雲影像，而另兩處崩塌，秀巒崩塌及玉穗溪崩塌均發現有時序性變化(三處崩塌之 WLSI 地物分類成果可見附錄三)：此兩處崩塌之母岩面積及岩屑面積分布程週期性波動，母岩出露面積於 4 月至 9 月期間有擴大的趨勢，而在 10 月至(隔年)2 月分則為岩屑堆積增多面積擴大的時期。此季節性變動可能之解釋為與汛期之降雨有關，於此期間較多或頻繁的降雨可能導致坡面災受侵蝕，致使母岩露出，但此觀測結果也不能排除為日照強度之季節性而導致之影像中反射能量強度之週期性變化。

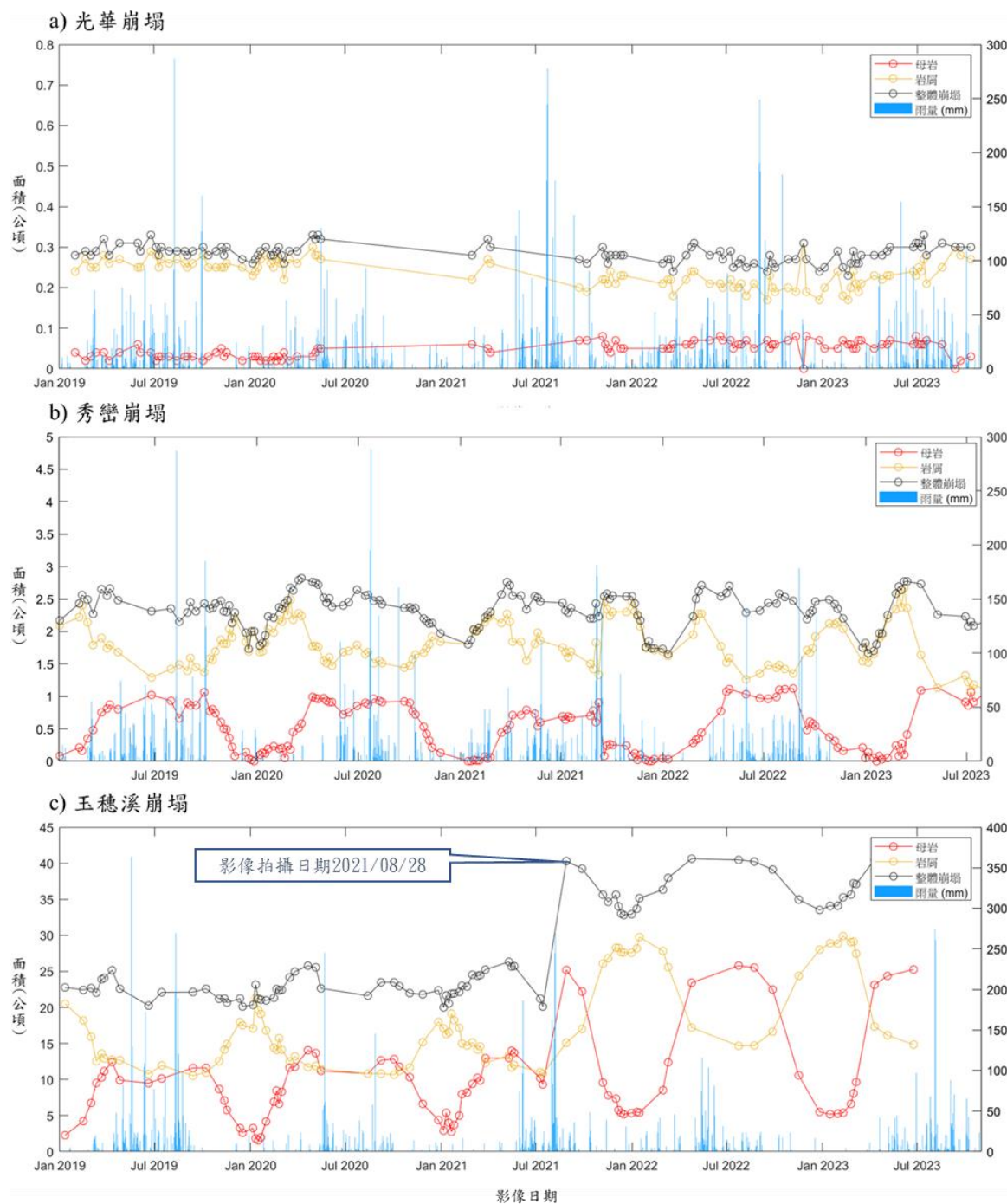


圖 3-5 崩塌坡面 WLSI 地物分類面積時序變化及日雨量紀錄。(a)光華崩塌，(b)秀巒崩塌，(c)玉穗溪崩塌

圖 3-5(c)中之玉穗溪崩塌地，於 2021 年 8 月 28 日觀測資料顯示整體崩塌面積有明顯擴大的情形，此為盧碧颱風事件(2021 年 8 月 6 日)之強降雨導致，本研究比對 2021 年 8 月 6 日盧碧颱風事件前後之 Sentinel-2 影像(圖 3-6)發現，該崩塌地於災後有擴大的狀況，擴大的部分主要在右岸(北部)，可以見到有明顯的植生移除。

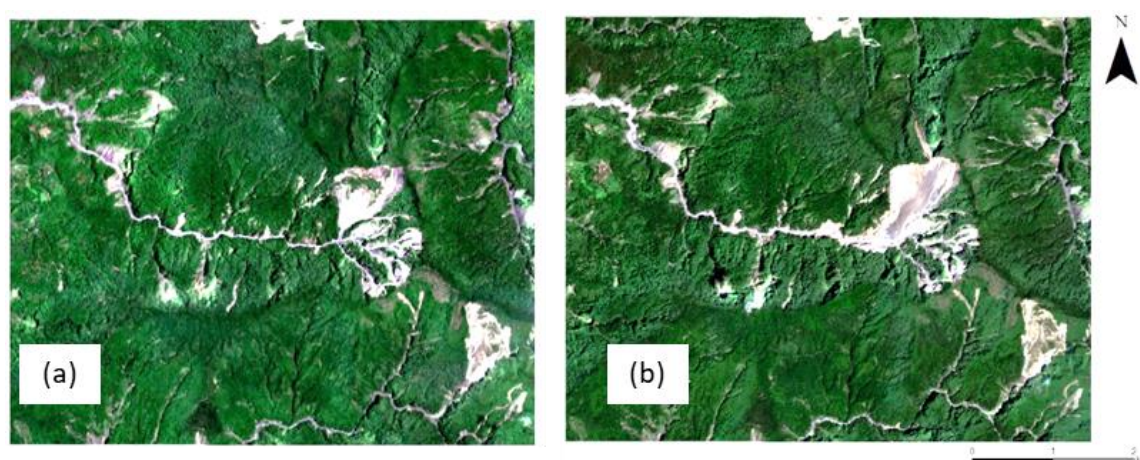


圖 3-6 高雄玉穗溪崩塌 Sentinel-2 真實色(RGB)影像。(a)2021 年盧碧颱風前(2021 年 7 月 14 日拍攝)，(b)盧碧颱風後(2021 年 8 月 28 日拍攝)。

針對 WLSI 的應用，本研究認為，此指標可用於偵測崩塌地之發生或擴增的情形(如玉穗溪崩塌)，另外，本研究也發現秀巒及玉穗溪兩處崩塌都有明顯的季節性變動，可能為坡面岩屑的堆積與遞移，此反應了該處崩塌仍可能處於不穩定的情形，並存有不安定之土砂輸出的狀況。在 WLSI 的成果分析中，光華崩塌地則顯得相對穩定，但此

坡面已知具有持續滑動的現象(行政院災害防救辦公室，2021)，但可能此坡面為移動坡面，表徵的改變無法被此指標反應，原因在於本研究 WLSI 為應用 10 公尺解析度之 Sentinel-2 光學資料，對該崩塌坡面（1.5 公頃）的觀測能力有限。本研究認為，對光華崩塌之穩定性評估問題，從衛星觀測技術的角度來看，可應用 InSAR(Interferometric synthetic aperture radar)技術來進行該處地表變形的監測，應為更加有效之方案。

四、崩塌地影像指標應用性評估

1. 動態邊坡穩定分數(Temporal Slope Stability Score, TS_{score})

為進行崩塌地穩定情形的評估工作，本研究則考慮分析一時距內之崩塌坡面變異情形，進而提出一數值量化指標——動態邊坡穩定分數(Temporal Slope Stability Score, TS_{score})。此指標為應用統計學 Z-score 之概念，配合多時序之 WLSI，針對影像中每一個網格量化其變化程度之顯著性，於時間 t 之 TS_{score} 之計算方式如下：

$$TS_{score}_t = \frac{\max\{WLSI_{t-k}, WLSI_t\} - WLSI_t}{\sigma_{WLSI_sig}} \quad (4-1)$$

其中 $WLSI_t$ 為計算網格之 t 時 WLSI 值， σ_{WLSI_sig} 為特徵標準差，為本研究提出之統計量，詳述如後。此計算為擷取 t 時及其前 k 期之影像(如移動視窗)之網格各時間 WLSI 之最大值，減去計算時間 t 之

WLSI，除上特徵標準差後可得時間 t 之 WLSI 變化程度之顯著性。其中特徵標準差為克服當樣本數極少時之手段，估計方法為模擬 WLSI 在合理值域(本研究野外量測樣本之值域約為 $1 \sim -0.2$ ，見表 3-1)之隨機數，並計算其標準差。此標準差在模擬樣本數較小時有較大的不確定性，而當樣本數越大時則越趨穩定。圖 3-7 為本研究在 $1 \sim -0.2$ 值域範圍內，不同樣本數(5-1000)時計算所得之標準差。圖中可以發現，當樣本數越大時其標準差估計值約趨於穩定，其值約為 0.35，本研究便以此估計值作為 σ_{WLSI_sig} 來計算 TS_{score} 。

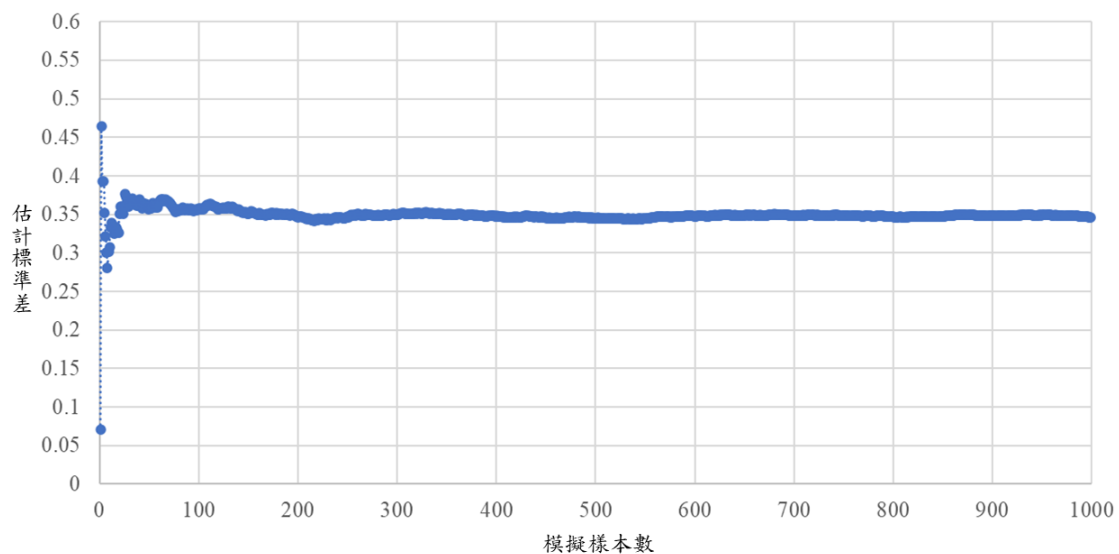


圖 3-7 特徵標準差之估計值與模擬樣本數之關係

2. TS_{score} 之應用

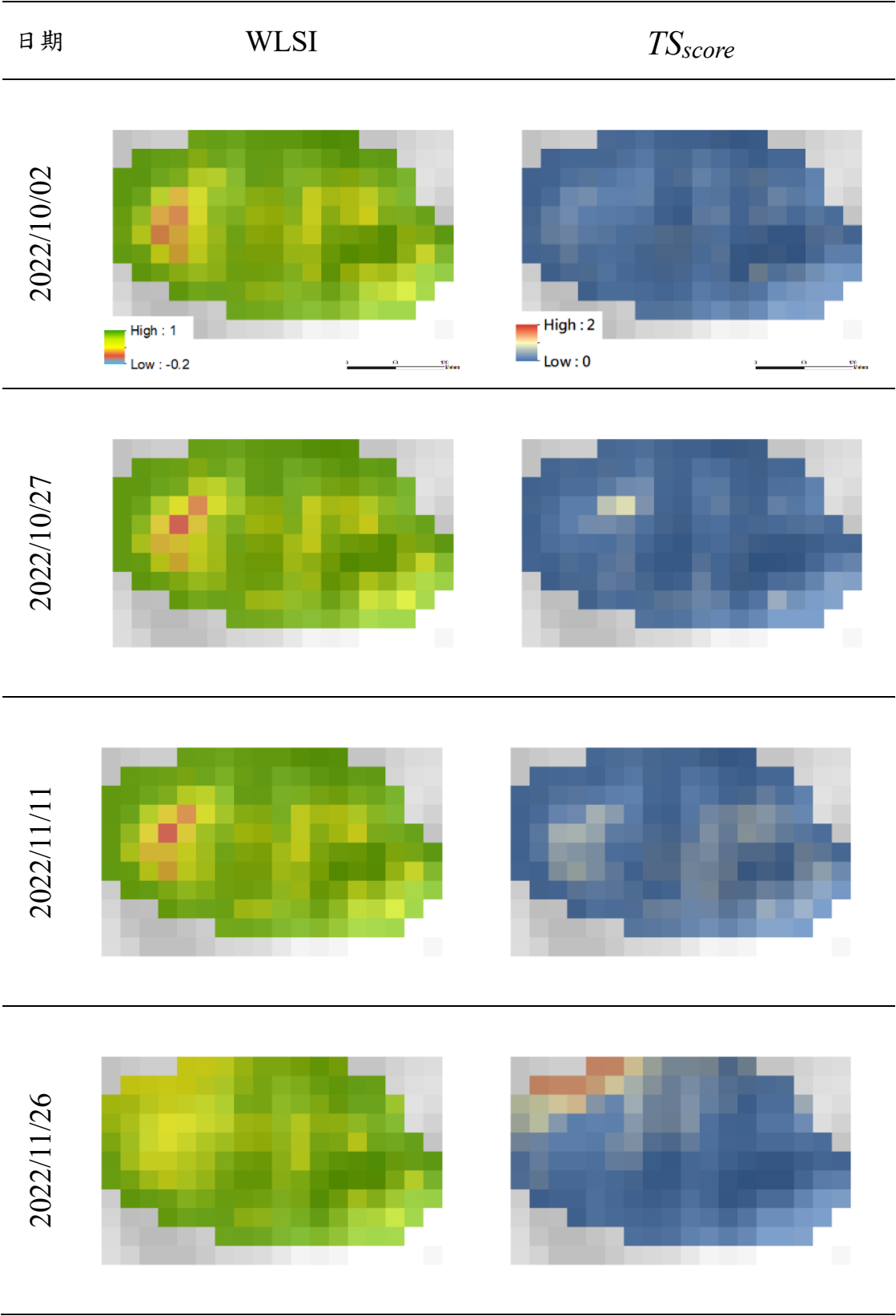
本研究應用 TS_{score} 針對三處崩塌之多時序資料進行計算(令 $k=1$)，來檢視邊坡是否有顯著變化及其分布情形，進而評估邊坡整體之穩定

性。本研究分別對光華、秀巒以及玉穗溪崩塌進行多時序的 TS_{score} 計算，各崩塌地分別選取連續 7 期影像作為分析範例，挑選第 4 期影像(連續 7 期影像之中間期)之前有較顯著之降雨事件作為觀察案例，並利用 TS_{score} 檢視該影像是否變坡上有顯著變動。表 3-3 列出中間期影像時間，及其對應之降雨事件。表 3-4、表 3-5 以及表 3-6 分別為光華、秀巒以及玉穗溪崩塌的 TS_{score} 多時序計算成果。

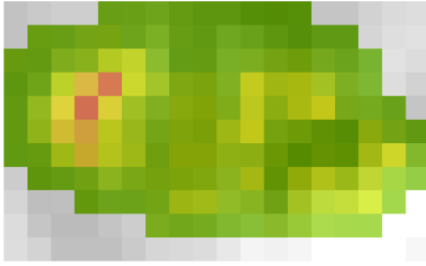
表 3-3 分析影像時間與對應降雨量

崩塌地位置	觀察影像時間	降雨期間	累積降雨量
光華	2022/11/26	2022/11/23~2022/11/26	109 mm
秀巒	2022/02/24	2022/02/7~2022/02/21	247 mm
玉穗溪	2021/08/28	2021/07/21~2021/08/24 (包含 8/3~8/6 盧碧颱風)	1306.5 mm

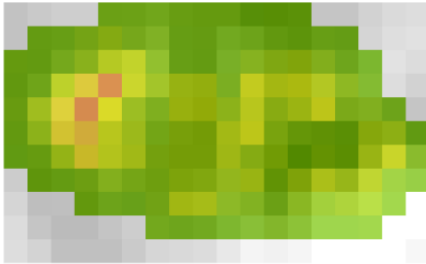
表 3-4 光華崩塌地 TS_{score} 時序分析



2022/12/01



2022/12/26



2023/01/05

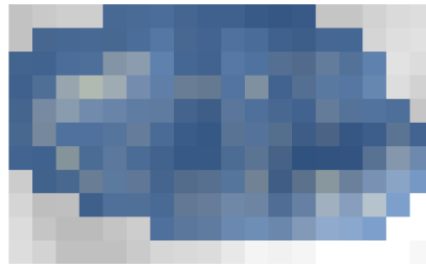
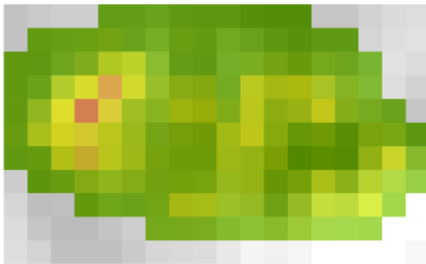
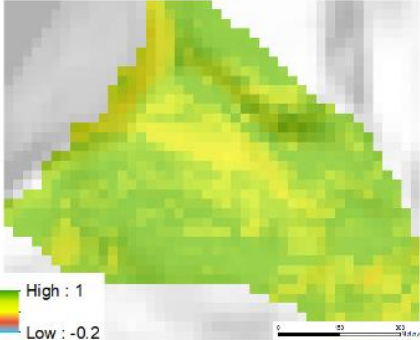
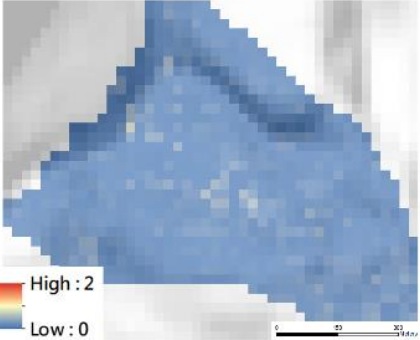
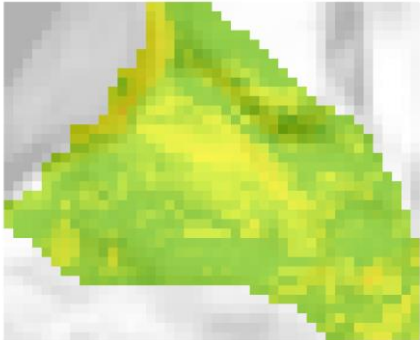
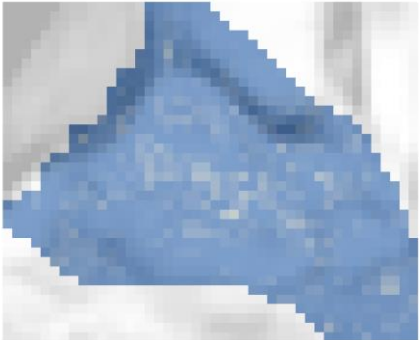
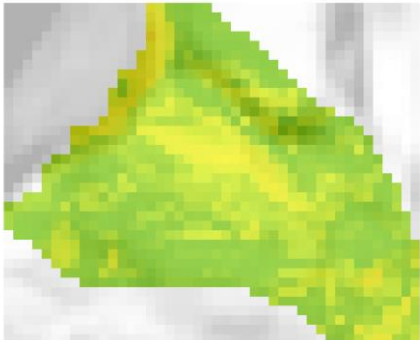
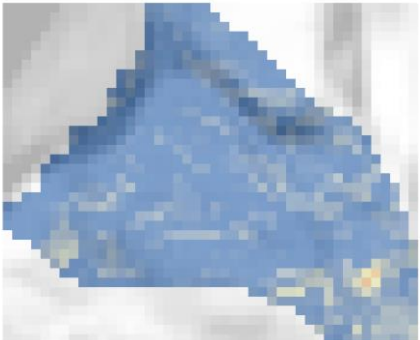
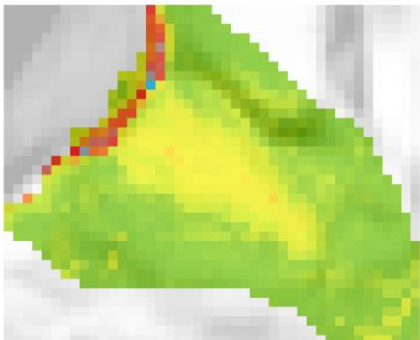
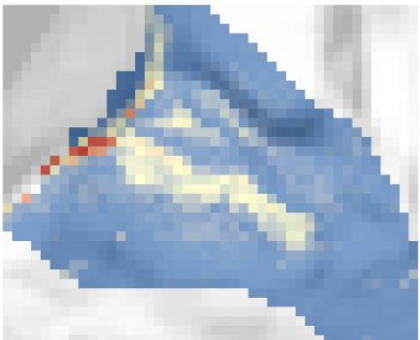


表 3-5 秀巒崩塌地 TS_{score} 時序分析

日期	WLSI	TS_{score}
2021/12/16		
2021/12/31		
2022/01/10		
2022/02/24		

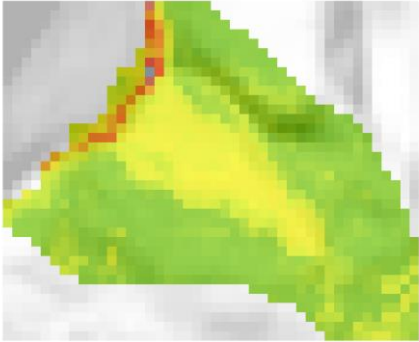
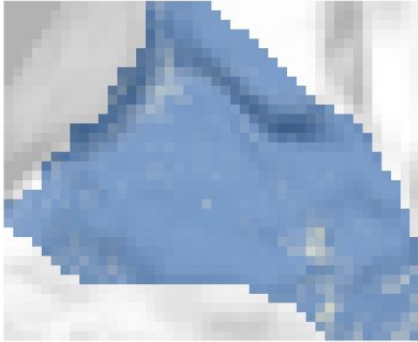
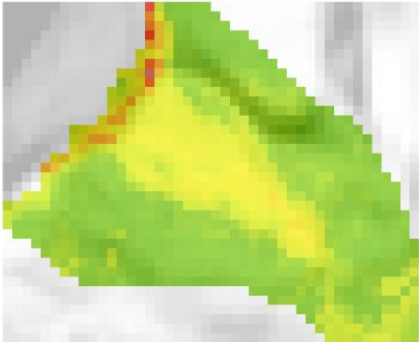
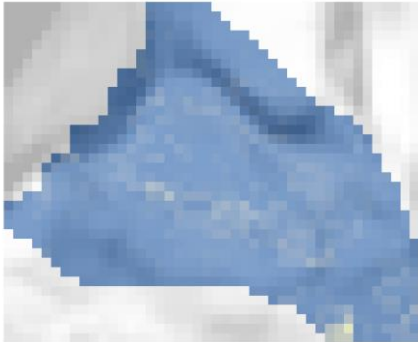
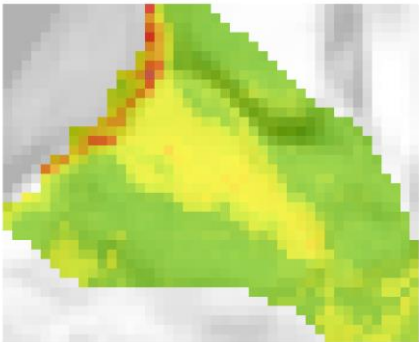
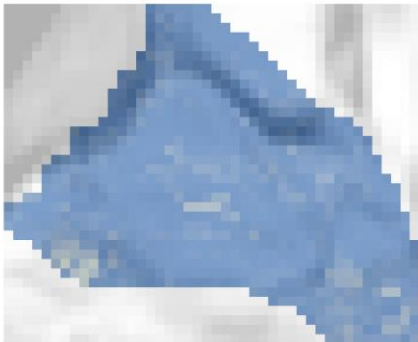
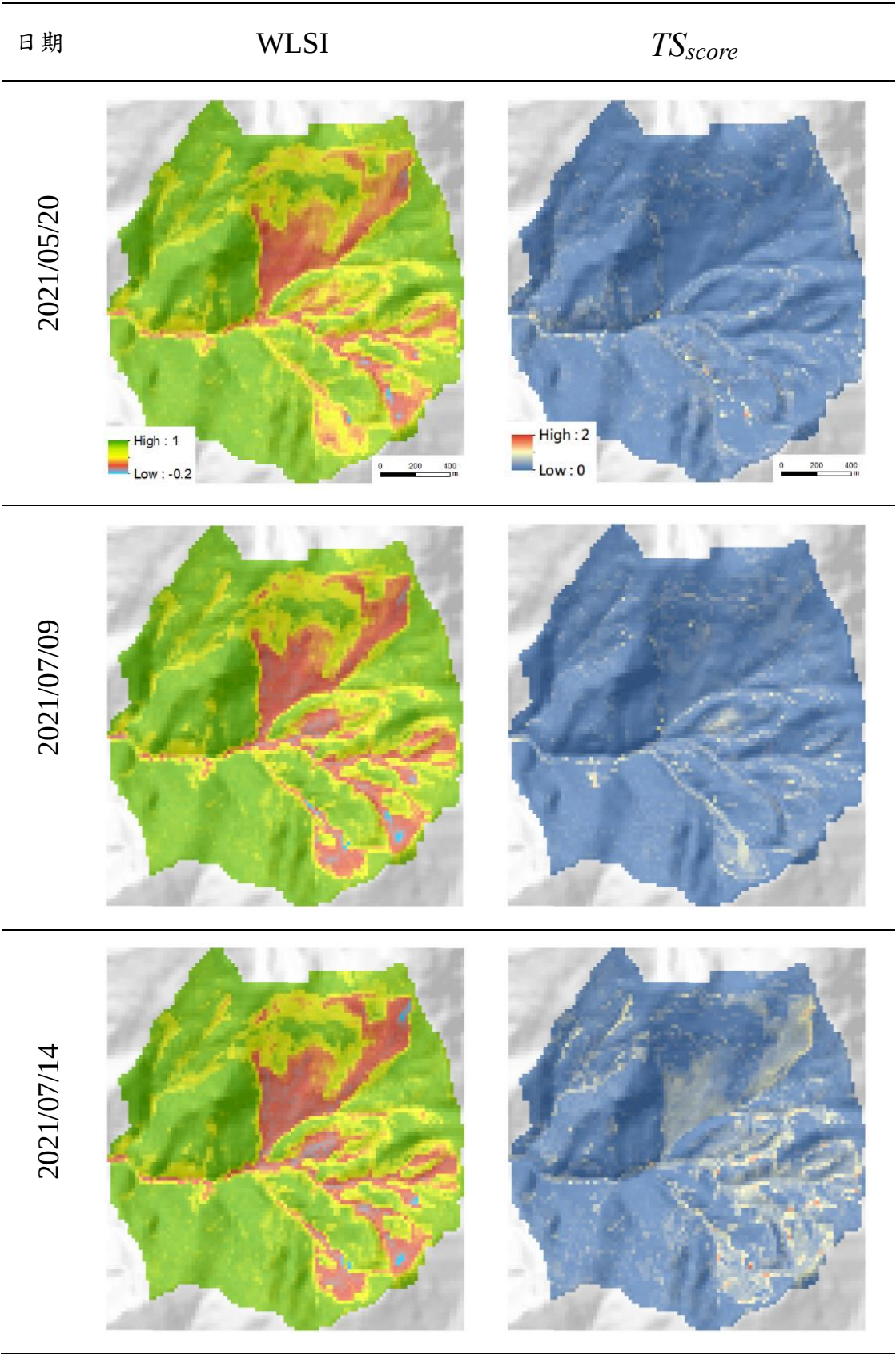
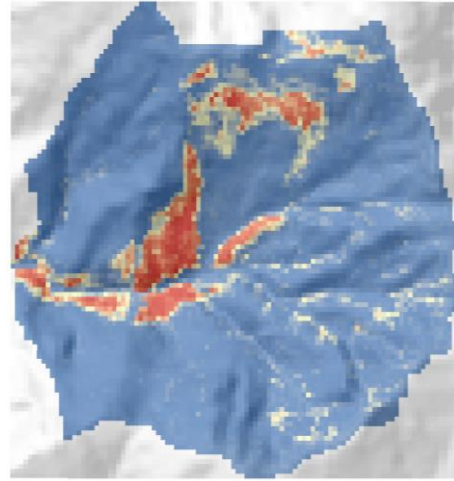
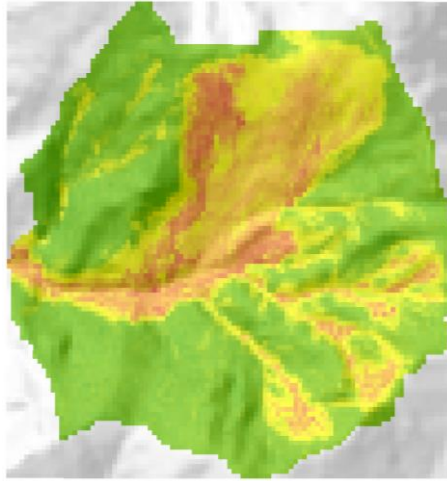
2022/03/01		
2022/03/06		
2022/03/11		

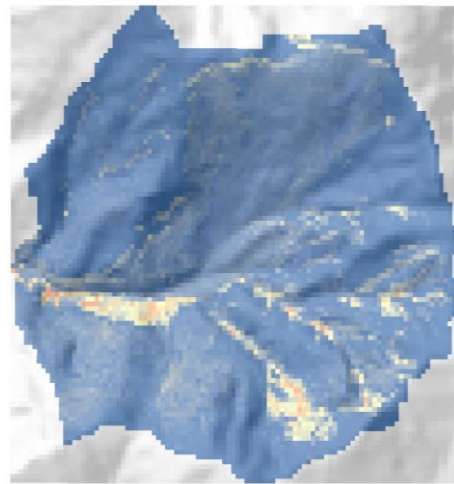
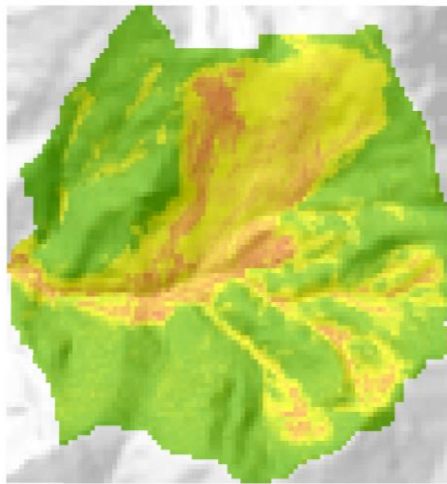
表 3-6 玉穗溪崩塌地 TS_{score} 時序分析



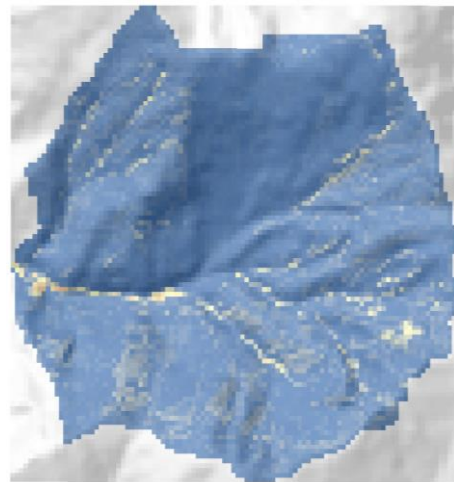
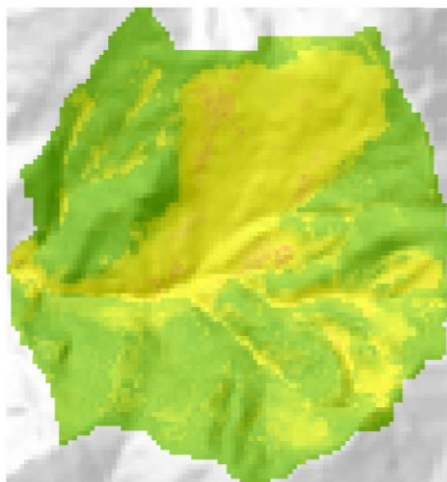
2021/08/28



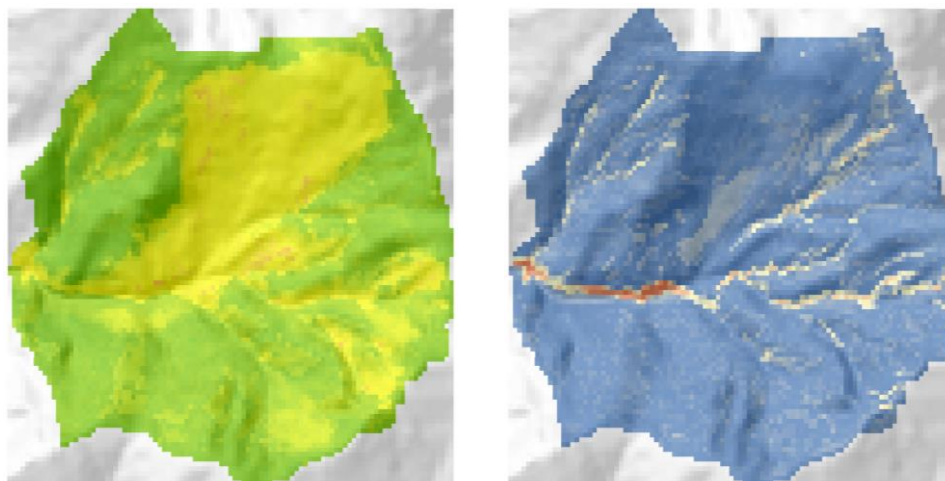
2021/09/27



2021/11/06



2021/11/16



本研究認為利用 TS_{score} 多時序計算成果可以界定出坡面的顯著變動位置。光華崩塌(2022/11/26)為北側有較明顯之變動，而秀巒崩塌(2022/02/24)為崩塌面及其河岸坡腳有較明顯的變動，而玉穗溪崩塌(2021/08/28)則有明顯的擴大，為盧碧颱風降雨所致，然而在颱風後仍可觀察到其坡面的變動逐漸轉移至河道上，應為不安定土砂之移動造成。

為檢視更長時距的整體坡面的變動情形，本研究分析 2019 年 1 月 1 日至 2023 年 10 月 31 日近五年的 TS_{score} 時序變化(三處崩塌之 TS_{score} 成果可見附錄三)，方法為以坡面為單位，計算該坡面 TS_{score} 之平均值與標準差，藉以觀測坡面整體的變動情形。下圖 3-8 為各崩塌地之整體崩塌坡面 TS_{score} 平均值與標準差之時序變化。從圖中可以發現，光華與秀巒崩塌並無明顯變動，僅玉穗溪崩塌地在盧碧颱風後其 TS_{score} 之平均值與標準差均有明顯增高的情形，表示該處於颱

風後之變動程度加劇。

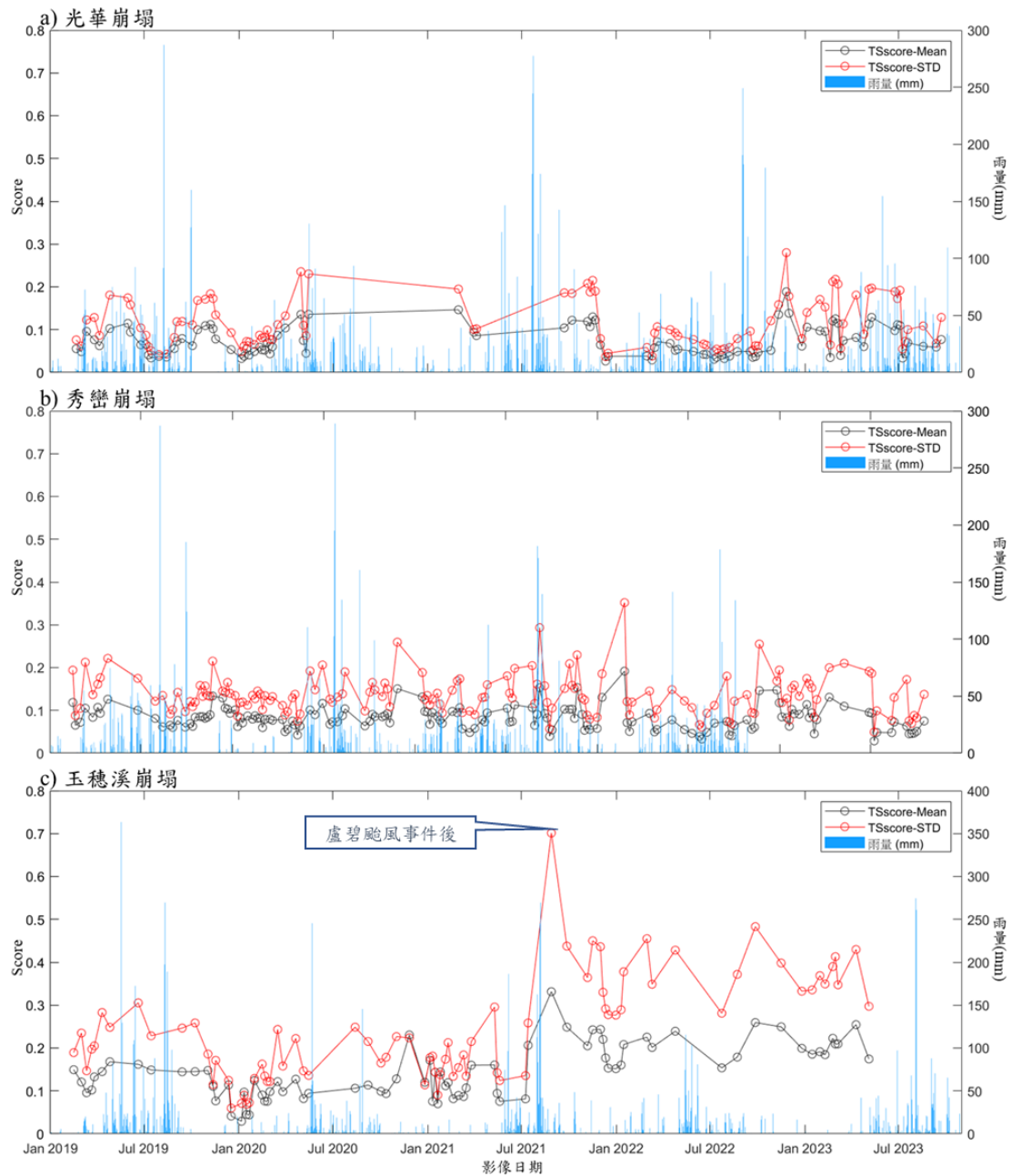


圖 3-8 崩塌坡面 TS_{score} 平均值(Mean)與標準差(STD)時序變化時序
變化及日雨量紀錄。(a)光華崩塌，(b)秀鑾崩塌，(c)玉穗溪崩塌

針對玉穗溪崩塌之分析成果，可以知道其為一不穩定邊坡，配合

表 3-6 的 TS_{score} 分布可以得知，坡面的變動為從坡面逐漸轉移到下邊坡及河道處。相對於光華及秀巒崩塌，玉穗溪崩塌之變動程度較大、較不穩定，可推測該坡面上之表土岩屑可成為該區之不穩定砂源，預期該崩塌之崩落物將持續遞移影響下游地區。

第四章 結論與建議

第一節 結論

本計畫之主要目的為運用光學衛星資料建立新型影像指標用於快速偵測因崩塌造成之不安定土砂之分布位置。計畫執行上為以新竹秀巒崩塌、桃園光華崩塌及高雄玉穗溪等三處崩塌為關注對象。首先，本計畫進行多時序光學影像資料收集與前處理以及崩塌樣態權重指標(Weighted Landslide State Index, WLSI)之建構與試驗，且與傳統植生指標(包含 NDVI、EVI 以及 NDWI)進行比較後，認為本研究提出之 WLSI 對於崩塌坡面上之土壤岩屑與母岩有較好的區判能力，能應用於崩塌穩定性分析之工作。

其次，本計畫以 WLSI 為基礎，提出動態邊坡穩定分數(Temporal Slope Stability Score, TS_{score})的多時序分析，此分析方法可以用於監測新增或擴增崩塌之發生時機與坡面的變動性。透過 TS_{score} 分析可以得知，相對於光華及秀巒崩塌，玉穗溪崩塌之變動程度較大、較不穩定，坡面的變動為從坡面逐漸轉移到下邊坡及河道處，本研究認為玉穗溪崩塌坡面上之表土岩屑為該集水區之不穩定砂源之一，並將持續影響下游地區。

第二節 建議

本研究所提出之 WLSI 以及 TS_{score} 多時序分析可應用於崩塌地穩定性之量化評估工作，此量化方式預期能有利於界定出山區不安定土砂分布的位置，以利相關的防災工作。本計畫預計為二年期計畫，本計畫為第一年期，建構了光學衛星資料為基礎的新型影像指標，能應用於快速偵測因崩塌造成之不安定土砂之分布；後續第二年期將以 InSAR (Interferometric synthetic aperture radar) 技術為基礎之高程測量方式，利用多時序雷達資料，針對光學資料界定出之不穩定坡面，進一步分析該坡面之高程與斷面變遷。其總體目標為整合兩年期計畫成果，建立一崩塌地穩定性之量化評估方式。

參考文獻

1. 王國隆、林俊廷（2014）運用 ALOS PALSAR 雷達影像之差分干涉成果於潛在崩塌地調查—以眉溪流域為例，航測及遙測學刊，19(3)：253-265。
2. 吳彥誼、林士淵、任玄（2020）合成孔徑雷達干涉產製數值高程模型影響因素評估—以季節像對與多視處理為例，航測及遙測學刊，255(2)：115-128。
2. 陳柔妃等（2015）運用雷達影像進行莫拉克颱風災區大規模潛勢區位之可行性評估，經濟部農委會水土保持局，計畫編號：SWCB-104-069。
3. Bovenga, F.; Wasowski, J.; Nitti, D.O.; Nutricato, R.; Chiaradia, M.T. Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. *Remote Sens. Environ.* 2012, 119, 272–285.
4. Casagli, N., Cigna, F., Bianchini, S., Hölbling, D., Füreder, P., Righini, G., Del Conte, S., Friedl, B., Schneiderbauer, S., Iasio, C., Vlcko, J., Greif, V., Proske, H., Granica, K., Falco, S., Lozzi, S., Morak, O., Arnaud, A., Novali, F., Bianchi, M., 2016. Landslide mapping and monitoring by using radar and optical remote sensing: Examples from the EC-FP7 project SAFER, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4: 92-108.
5. Chiang SH., and Chang KT, 2011. The Potential Impact of Climate Change on Typhoon-Triggered Landslides in Taiwan, 2010-2099. *Geomorphology*, 133: 143-151.

6. Colesanti, C., Wasowski, J. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Eng. Geol.* 2006, 88, 173–199.
7. Correa-Muñozl, N. A., Murillo-Feo, C. A., 2018. Detection of Landslides with SAR Polarymetry: Case Study of South-eastern Colombia. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-3/W4, GeoInformation for Disaster Management. Istanbul, Turkey.
8. EAS Sentinel 1 web: <https://sentinel.esa.int/>
9. Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K. T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem, *Earth-Science Reviews*, 112: 42-66
10. Hopper, A., Zebker, H. A., Segall, P., Kampes, B., 2004, A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L23611.
11. Konishi, T., Suga, Y., 2018. Landslide detection using COSMOSkyMed images: a case study of a landslide event on Kii Peninsula, Japan, *European Journal of Remote Sensing*, 51:1, 205-221, DOI: 10.1080/22797254.2017.1418185
12. Lee, J.S.,1981. Speckle Analysis and Smoothing of Synthetic Aperture Radar Images. *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.17:24-32.
13. Mondini, A. C., 2017. Measures of Spatial Autocorrelation Changes in Multitemporal SAR Images for Event Landslides Detection, *Remote Sensing*, 9(6), 554; doi:10.3390/rs9060554.

14. Mondini, A. C., Chang, K. T., Chiang, S. H., Schlögel, R., Notarnicola, C., Saito, H., 2017. Automatic mapping of event landslides at basin scale in Taiwan using a Montecarlo approach and synthetic land cover fingerprints. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 63: 112-121.
15. Raspini, F.; Moretti, S.; Fumagalli, A.; Rucci, A.; Novali, F.; Ferretti, A.; Prati, C.; Casagli, N. The COSMO-SkyMed constellation monitors the Costa Concordia wreck. *Remote Sens.* 2014, 6, 3988–4002.
16. Shibayama, T., Yamaguchi, Y., Yamada, H., 2015. Polarimetric Scattering Properties of Landslides in Forested Areas and the Dependence on the Local Incidence Angle. *Remote Sens.* 7, 15424-15442; doi:10.3390/rs71115424.
17. Shimada, M., Watanabe, M., Kawano, N., Ohki, M., Motooaka, T., 2014. Detecting Mountainous Landslides by SAR Polarimetry: A Comparative Study Using Pi-SAR-L2 and X-band SARs. *Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan* Vol. 12, No. ists29, pp. 9-15.
18. Yamaguchi, Y., Moriyama, T., Ishido, M., Yamada, H. 2005. Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 43, 1699–1706.

附錄一 大氣校正應用模型參考說明

各項參考資料為修改自 L3Harris Geospatial, Inc.

(<https://www.harrisgeospatial.com/docs/FLAASH.html>)

1. FLAASH 標準大氣模型應用於不同氣候帶

Model Atmosphere	Water Vapor (std atm-cm)	Water Vapor (g/cm ²)	Surface Air Temperature
北極地區 冬天 Sub-Arctic Winter (SAW)	518	0.42	-16°C or 3°F
中緯度 冬天 Mid-Latitude Winter (MLW)	1060	0.85	-1°C or 30°F
美國標準氣候 U.S. Standard (US)	1762	1.42	15°C or 59°F
亞北極地區 夏天 Sub-Arctic Summer (SAS)	2589	2.08	14°C or 57°F
中緯度 夏天 Mid-Latitude Summer (MLS)	3636	2.92	21°C or 70°F
熱帶地區 Tropical (T)	5119	4.11	27°C or 80°F

2. 地表溫度的緯度-季節相關性與大氣模型選擇

Latitude(°N)	Jan.	Mar.	May.	Jul.	Sep.	Nov.
80	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	MLS	MLS	T
-30	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80	MLW	MLW	SAW	MLW	MLW	MLW

3. 天氣狀況與可見範圍的關係

天氣狀況	可見範圍
Clear	40 to 100 km
Moderate Haze	20 to 30 km
Thick Haze	15 km or less

4. 氣膠模型

Aerosol Model	說明
鄉村型 Rural	不受城市或工業來源直接影響的地區。
都市型 Urban	80%的鄉村型氣膠與 20%的碳質氣膠的混合物，適用於高密度的城市/工業區。
海洋型 Maritime	海洋或大洋在大風的作用下的邊界層。它由兩個部分組成，一個來自海浪，另一個來自鄉村型氣膠。
對流層 Tropospheric	在對流層邊界層之上，氣膠特性變得更加均勻，可以用一般的對流層氣膠模型來描述。

附錄二 衛星影像收集列表

一、SPOT 光學衛星

(1)光華崩塌

編號	拍攝日期	影像編號	影像類別
1	2005/11/27	CSR_P0002599_SP4H1I_20051127	SPOT4
2	2005/12/24	CSR_P0002037_SP4H2I_20051224	SPOT4
3	2006/01/14	CSR_P0002074_SP4H2I_20060114	SPOT4
4	2006/02/01	CSR_P0007341_SP5G1J_20060201	SPOT5

(2)秀巒崩塌

編號	拍攝日期	影像編號	影像類別
1	2006/08/14	CSR_P0002538_SP5G2J_20060814	SPOT5
2	2006/10/15	CSR_P0002709_SP5G1J_20061015	SPOT5
3	2016/02/07	CSR_A0013471_SP7H1M_20160207	SPOT7
4	2016/08/26	CSR_A0000512_SP7H1M_20160826	SPOT7
5	2017/01/02	CSR_A0000234_SP6H1M_20170102	SPOT6

(3)玉穗溪崩塌

編號	拍攝日期	影像編號	影像類別
1	2021/03/16	CSR_A0012457_SP6H1M_20210316	SPOT6
2	2021/04/13	CSR_A0012927_SP6H1M_20210413	SPOT6
3	2021/05/09	CSR_A0013423_SP6H1M_20210509	SPOT6
4	2021/07/01	CSR_A0014858_SP7H1M_20210701	SPOT7
5	2021/08/27	CSR_A0015648_SP7H1M_20210827	SPOT7

二、Sentinel-2 光學衛星

(1)光華崩塌 (共計 102 幅)

編號	拍攝日期	影像編號
1	2019/01/31	20190131T022929_20190131T023934_T51RUH
2	2019/02/20	20190220T022729_20190220T023713_T51RUH
3	2019/03/02	20190302T022619_20190302T023810_T51RUH
4	2019/03/12	20190312T022549_20190312T023852_T51RUH
5	2019/03/27	20190327T022551_20190327T023815_T51RUH
6	2019/04/06	20190406T022551_20190406T024027_T51RUH

7	2019/04/26	20190426T022551_20190426T023827_T51RUH
8	2019/05/31	20190531T022559_20190531T023831_T51RUH
9	2019/06/05	20190605T022551_20190605T024028_T51RUH
10	2019/06/25	20190625T022551_20190625T023827_T51RUH
11	2019/07/05	20190705T022551_20190705T023336_T51RUH
12	2019/07/10	20190710T022559_20190710T023807_T51RUH
13	2019/07/15	20190715T022551_20190715T022554_T51RUH
14	2019/07/30	20190730T022559_20190730T023701_T51RUH
15	2019/08/14	20190814T022551_20190814T022553_T51RUH
16	2019/08/29	20190829T022559_20190829T023816_T51RUH
17	2019/09/03	20190903T022551_20190903T023331_T51RUH
18	2019/9/13	20190913T022551_20190913T022548_T51RUH
19	2019/10/03	20191003T022551_20191003T023825_T51RUH
20	2019/10/13	20191013T022631_20191013T022634_T51RUH
21	2019/10/28	20191028T022809_20191028T023915_T51RUH
22	2019/11/07	20191107T022909_20191107T022903_T51RUH
23	2019/11/12	20191112T022931_20191112T022931_T51RUH
24	2019/11/17	20191117T022949_20191117T022951_T51RUH
25	2019/12/17	20191217T023109_20191217T023110_T51RUH
26	2020/01/06	20200106T023059_20200106T023059_T51RUH
27	2020/01/11	20200111T023051_20200111T023047_T51RUH
28	2020/01/16	20200116T023029_20200116T023031_T51RUH
29	2020/01/21	20200121T023011_20200121T023013_T51RUH
30	2020/01/31	20200131T022931_20200131T023848_T51RUH
31	2020/2/10	20200210T022831_20200210T022829_T51RUH
32	2020/2/15	20200215T022759_20200215T023959_T51RUH
33	2020/2/20	20200220T022731_20200220T024000_T51RUH
34	2020/2/25	20200225T022659_20200225T023812_T51RUH
35	2020/03/01	20200301T022621_20200301T024038_T51RUH
36	2020/03/06	20200306T022549_20200306T023640_T51RUH
37	2020/03/16	20200316T022549_20200316T023705_T51RUH
38	2020/03/31	20200331T022551_20200331T023508_T51RUH
39	2020/04/30	20200430T022551_20200430T023826_T51RUH
40	2020/05/05	20200505T022549_20200505T023755_T51RUH
41	2020/05/10	20200510T022551_20200510T022554_T51RUH
42	2020/05/15	20200515T022549_20200515T023822_T51RUH

43	2021/03/01	20210301T022629_20210301T023904_T51RUH
44	2021/03/31	20210331T022549_20210331T023828_T51RUH
45	2021/04/05	20210405T022551_20210405T023819_T51RUH
46	2021/09/22	20210922T022551_20210922T023225_T51RUH
47	2021/10/07	20211007T022559_20211007T023823_T51RUH
48	2021/11/06	20211106T022859_20211106T022902_T51RUH
49	2021/11/11	20211111T022931_20211111T022929_T51RUH
50	2021/11/16	20211116T022949_20211116T022949_T51RUH
51	2021/11/21	20211121T023011_20211121T023012_T51RUH
52	2021/12/01	20211201T023051_20211201T023046_T51RUH
53	2021/12/11	20211211T023111_20211211T023816_T51RUH
54	2021/12/16	20211216T023109_20211216T023109_T51RUH
55	2022/03/01	20220301T022631_20220301T023903_T51RUH
56	2022/03/11	20220311T022551_20220311T023921_T51RUH
57	2022/03/16	20220316T022549_20220316T023828_T51RUH
58	2022/03/21	20220321T022551_20220321T023827_T51RUH
59	2022/04/15	20220415T022549_20220415T023801_T51RUH
60	2022/04/25	20220425T022549_20220425T023824_T51RUH
61	2022/04/30	20220430T022551_20220430T023828_T51RUH
62	2022/05/30	20220530T022601_20220530T023831_T51RUH
63	2022/06/19	20220619T022541_20220619T023815_T51RUH
64	2022/06/24	20220624T022539_20220624T023819_T51RUH
65	2022/07/09	20220709T022601_20220709T023836_T51RUH
66	2022/07/14	20220714T022539_20220714T023818_T51RUH
67	2022/07/24	20220724T022539_20220724T023819_T51RUH
68	2022/07/29	20220729T022541_20220729T023813_T51RUH
69	2022/08/08	20220808T022541_20220808T023815_T51RUH
70	2022/08/23	20220823T022529_20220823T023815_T51RUH
71	2022/09/17	20220917T022541_20220917T023812_T51RUH
72	2022/09/22	20220922T022529_20220922T023815_T51RUH
73	2022/09/27	20220927T022541_20220927T023810_T51RUH
74	2022/10/02	20221002T022529_20221002T023813_T51RUH
75	2022/10/27	20221027T022811_20221027T024040_T51RUH
76	2022/11/11	20221111T022929_20221111T023627_T51RUH
77	2022/11/26	20221126T023031_20221126T023720_T51RUH
78	2022/12/01	20221201T023049_20221201T023746_T51RUH

79	2022/12/26	20221226T023121_20221226T023806_T51RUH
80	2023/01/05	20230105T023111_20230105T023756_T51RUH
81	2023/01/30	20230130T022939_20230130T023625_T51RUH
82	2023/02/09	20230209T022839_20230209T023531_T51RUH
83	2023/02/19	20230219T022739_20230219T023549_T51RUH
84	2023/02/24	20230224T022701_20230224T023934_T51RUH
85	2023/03/01	20230301T022629_20230301T023903_T51RUH
86	2023/03/06	20230306T022551_20230306T023822_T51RUH
87	2023/03/11	20230311T022539_20230311T023347_T51RUH
88	2023/03/16	20230316T022531_20230316T023801_T51RUH
89	2023/04/10	20230410T022529_20230410T023805_T51RUH
90	2023/04/25	20230425T022531_20230425T023757_T51RUH
91	2023/05/05	20230505T022531_20230505T023758_T51RUH
92	2023/05/10	20230510T022529_20230510T023806_T51RUH
93	2023/06/24	20230624T022531_20230624T023804_T51RUH
94	2023/06/29	20230629T022539_20230629T023805_T51RUH
95	2023/07/04	20230704T022541_20230704T023805_T51RUH
96	2023/07/09	20230709T022539_20230709T023805_T51RUH
97	2023/07/14	20230714T022541_20230714T023722_T51RUH
98	2023/07/19	20230719T022539_20230719T023806_T51RUH
99	2023/08/18	20230818T022539_20230818T023031_T51RUH
100	2023/09/12	20230912T022541_20230912T023103_T51RUH
101	2023/09/22	20230922T022531_20230922T023802_T51RUH
102	2023/10/12	20231012T022621_20231012T023853_T51RUH

(2)秀巒崩塌 (共計 156 幅)

編號	拍攝日期	影像編號
1	2019/01/11	20190111T023049_20190111T023626_T51RUH
2	2019/02/15	20190215T022801_20190215T023325_T51RUH
3	2019/02/20	20190220T022729_20190220T023713_T51RUH
4	2019/03/02	20190302T022619_20190302T023810_T51RUH
5	2019/03/12	20190312T022549_20190312T023852_T51RUH
6	2019/03/27	20190327T022551_20190327T023815_T51RUH
7	2019/04/06	20190406T022551_20190406T024027_T51RUH
8	2019/04/11	20190411T022559_20190411T023827_T51RUH
9	2019/04/26	20190426T022551_20190426T023827_T51RUH
10	2019/06/25	20190625T022551_20190625T023827_T51RUH
11	2019/07/30	20190730T022559_20190730T023701_T51RUH
12	2019/08/14	20190814T022551_20190814T022553_T51RUH
13	2019/08/29	20190829T022559_20190829T023816_T51RUH
14	2019/09/03	20190903T022551_20190903T023331_T51RUH
15	2019/09/13	20190913T022551_20190913T022548_T51RUH
16	2019/09/28	20190928T022549_20190928T023537_T51RUH
17	2019/10/08	20191008T022559_20191008T023650_T51RUH
18	2019/10/13	20191013T022631_20191013T022634_T51RUH
19	2019/10/18	20191018T022709_20191018T023823_T51RUH
20	2019/10/28	20191028T022809_20191028T023915_T51RUH
21	2019/11/02	20191102T022841_20191102T023803_T51RUH
22	2019/11/07	20191107T022909_20191107T022903_T51RUH
23	2019/11/12	20191112T022931_20191112T022931_T51RUH
24	2019/11/17	20191117T022949_20191117T022951_T51RUH
25	2019/11/22	20191122T023021_20191122T023015_T51RUH
26	2019/12/12	20191212T023111_20191212T023106_T51RUH
27	2019/12/17	20191217T023109_20191217T023110_T51RUH
28	2019/12/22	20191222T023111_20191222T023112_T51RUH
29	2019/12/27	20191227T023109_20191227T023112_T51RUH
30	2020/01/06	20200106T023059_20200106T023059_T51RUH
31	2020/01/11	20200111T023051_20200111T023047_T51RUH
32	2020/01/16	20200116T023029_20200116T023031_T51RUH
33	2020/01/21	20200121T023011_20200121T023013_T51RUH
34	2020/01/31	20200131T022931_20200131T023848_T51RUH

35	2020/02/10	20200210T022831_20200210T022829_T51RUH
36	2020/02/15	20200215T022759_20200215T023959_T51RUH
37	2020/02/20	20200220T022731_20200220T024000_T51RUH
38	2020/02/25	20200225T022659_20200225T023812_T51RUH
39	2020/03/01	20200301T022621_20200301T024038_T51RUH
40	2020/03/06	20200306T022549_20200306T023640_T51RUH
41	2020/03/16	20200316T022549_20200316T023705_T51RUH
42	2020/03/21	20200321T022551_20200321T023819_T51RUH
43	2020/04/10	20200410T022551_20200410T022547_T51RUH
44	2020/04/15	20200415T022549_20200415T023819_T51RUH
45	2020/04/20	20200420T022551_20200420T023824_T51RUH
46	2020/04/30	20200430T022551_20200430T023826_T51RUH
47	2020/05/05	20200505T022549_20200505T023755_T51RUH
48	2020/05/10	20200510T022551_20200510T022554_T51RUH
49	2020/05/15	20200515T022549_20200515T023822_T51RUH
50	2020/06/04	20200604T022549_20200604T023825_T51RUH
51	2020/06/14	20200614T022549_20200614T023825_T51RUH
52	2020/06/29	20200629T022551_20200629T023517_T51RUH
53	2020/07/14	20200714T022549_20200714T023824_T51RUH
54	2020/07/19	20200719T022551_20200719T023828_T51RUH
55	2020/07/29	20200729T022601_20200729T023822_T51RUH
56	2020/08/08	20200808T022601_20200808T023829_T51RUH
57	2020/08/13	20200813T022549_20200813T023833_T51RUH
58	2020/09/22	20200922T022549_20200922T023832_T51RUH
59	2020/10/02	20201002T022549_20201002T023833_T51RUH
60	2020/10/07	20201007T022601_20201007T023209_T51RUH
61	2020/10/12	20201012T022629_20201012T023913_T51RUH
62	2020/10/27	20201027T022811_20201027T024045_T51RUH
63	2020/11/01	20201101T022839_20201101T022837_T51RUH
64	2020/11/06	20201106T022911_20201106T024033_T51RUH
65	2020/11/11	20201111T022929_20201111T022930_T51RUH
66	2020/11/26	20201126T023031_20201126T023033_T51RUH
67	2021/01/15	20210115T023041_20210115T023713_T51RUH
68	2021/01/20	20210120T023019_20210120T023019_T51RUH
69	2021/01/25	20210125T023001_20210125T023000_T51RUH
70	2021/01/30	20210130T022939_20210130T022934_T51RUH

71	2021/02/04	20210204T022911_20210204T024032_T51RUH
72	2021/02/14	20210214T022811_20210214T023522_T51RUH
73	2021/02/19	20210219T022729_20210219T023951_T51RUH
74	2021/02/24	20210224T022701_20210224T023933_T51RUH
75	2021/03/16	20210316T022551_20210316T023226_T51RUH
76	2021/03/26	20210326T022551_20210326T023821_T51RUH
77	2021/03/31	20210331T022549_20210331T023828_T51RUH
78	2021/04/05	20210405T022551_20210405T023819_T51RUH
79	2021/04/20	20210420T022549_20210420T023804_T51RUH
80	2021/04/30	20210430T022549_20210430T023826_T51RUH
81	2021/05/15	20210515T022551_20210515T023226_T51RUH
82	2021/05/20	20210520T022549_20210520T023830_T51RUH
83	2021/05/25	20210525T022551_20210525T023824_T51RUH
84	2021/07/04	20210704T022551_20210704T023825_T51RUH
85	2021/07/09	20210709T022549_20210709T023832_T51RUH
86	2021/07/14	20210714T022551_20210714T023837_T51RUH
87	2021/07/19	20210719T022549_20210719T023832_T51RUH
88	2021/08/23	20210823T022551_20210823T023825_T51RUH
89	2021/08/28	20210828T022549_20210828T023828_T51RUH
90	2021/09/02	20210902T022551_20210902T023824_T51RUH
91	2021/09/07	20210907T022549_20210907T023826_T51RUH
92	2021/09/17	20210917T022549_20210917T023826_T51RUH
93	2021/09/22	20210922T022551_20210922T023225_T51RUH
94	2021/09/27	20210927T022549_20210927T023829_T51RUH
95	2021/10/02	20211002T022551_20211002T023828_T51RUH
96	2021/10/27	20211027T022809_20211027T024046_T51RUH
97	2021/11/06	20211106T022859_20211106T022902_T51RUH
98	2021/11/11	20211111T022931_20211111T022929_T51RUH
99	2021/11/16	20211116T022949_20211116T022949_T51RUH
100	2021/11/21	20211121T023011_20211121T023012_T51RUH
101	2021/12/01	20211201T023051_20211201T023046_T51RUH
102	2021/12/06	20211206T023059_20211206T023054_T51RUH
103	2021/12/11	20211211T023111_20211211T023816_T51RUH
104	2021/12/16	20211216T023109_20211216T023109_T51RUH
105	2021/12/31	20211231T023121_20211231T023806_T51RUH
106	2022/01/10	20220110T023101_20220110T023721_T51RUH

107	2022/02/24	20220224T022659_20220224T023941_T51RUH
108	2022/03/01	20220301T022631_20220301T023903_T51RUH
109	2022/03/06	20220306T022549_20220306T023829_T51RUH
110	2022/03/11	20220311T022551_20220311T023921_T51RUH
111	2022/04/15	20220415T022549_20220415T023801_T51RUH
112	2022/04/25	20220425T022549_20220425T023824_T51RUH
113	2022/04/30	20220430T022551_20220430T023828_T51RUH
114	2022/05/30	20220530T022601_20220530T023831_T51RUH
115	2022/06/24	20220624T022539_20220624T023819_T51RUH
116	2022/07/09	20220709T022601_20220709T023836_T51RUH
117	2022/07/24	20220724T022539_20220724T023819_T51RUH
118	2022/07/29	20220729T022541_20220729T023813_T51RUH
119	2022/08/08	20220808T022541_20220808T023815_T51RUH
120	2022/08/23	20220823T022529_20220823T023815_T51RUH
121	2022/09/17	20220917T022541_20220917T023812_T51RUH
122	2022/09/22	20220922T022529_20220922T023815_T51RUH
123	2022/09/27	20220927T022541_20220927T023810_T51RUH
124	2022/10/02	20221002T022529_20221002T023813_T51RUH
125	2022/10/27	20221027T022811_20221027T024040_T51RUH
126	2022/11/06	20221106T022901_20221106T023758_T51RUH
127	2022/11/11	20221111T022929_20221111T023627_T51RUH
128	2022/11/21	20221121T023009_20221121T023712_T51RUH
129	2022/12/26	20221226T023121_20221226T023806_T51RUH
130	2022/12/31	20221231T023109_20221231T023814_T51RUH
131	2023/01/05	20230105T023111_20230105T023756_T51RUH
132	2023/01/15	20230115T023041_20230115T023728_T51RUH
133	2023/01/20	20230120T023019_20230120T023711_T51RUH
134	2023/01/25	20230125T023001_20230125T023649_T51RUH
135	2023/01/30	20230130T022939_20230130T023625_T51RUH
136	2023/02/09	20230209T022839_20230209T023531_T51RUH
137	2023/02/24	20230224T022701_20230224T023934_T51RUH
138	2023/03/01	20230301T022629_20230301T023903_T51RUH
139	2023/03/06	20230306T022551_20230306T023822_T51RUH
140	2023/03/11	20230311T022539_20230311T023347_T51RUH
141	2023/03/16	20230316T022531_20230316T023801_T51RUH
142	2023/04/10	20230410T022529_20230410T023805_T51RUH

143	2023/05/10	20230510T022529_20230510T023806_T51RUH
144	2023/06/29	20230629T022539_20230629T023805_T51RUH
145	2023/07/04	20230704T022541_20230704T023805_T51RUH
146	2023/07/09	20230709T022539_20230709T023805_T51RUH
147	2023/07/14	20230714T022541_20230714T023722_T51RUH
148	2023/08/13	20230813T022551_20230813T023121_T51RUH
149	2023/08/18	20230818T022539_20230818T023031_T51RUH
150	2023/09/12	20230912T022541_20230912T023103_T51RUH
151	2023/09/17	20230917T022539_20230917T023032_T51RUH
152	2023/09/22	20230922T022531_20230922T023802_T51RUH
153	2023/09/27	20230927T022539_20230927T023803_T51RUH
154	2023/10/02	20231002T022531_20231002T023802_T51RUH
155	2023/10/17	20231017T022659_20231017T023930_T51RUH
156	2023/11/01	20231101T022831_20231101T023521_T51RUH

(3)玉穗溪崩塌 (共計 83 幅)

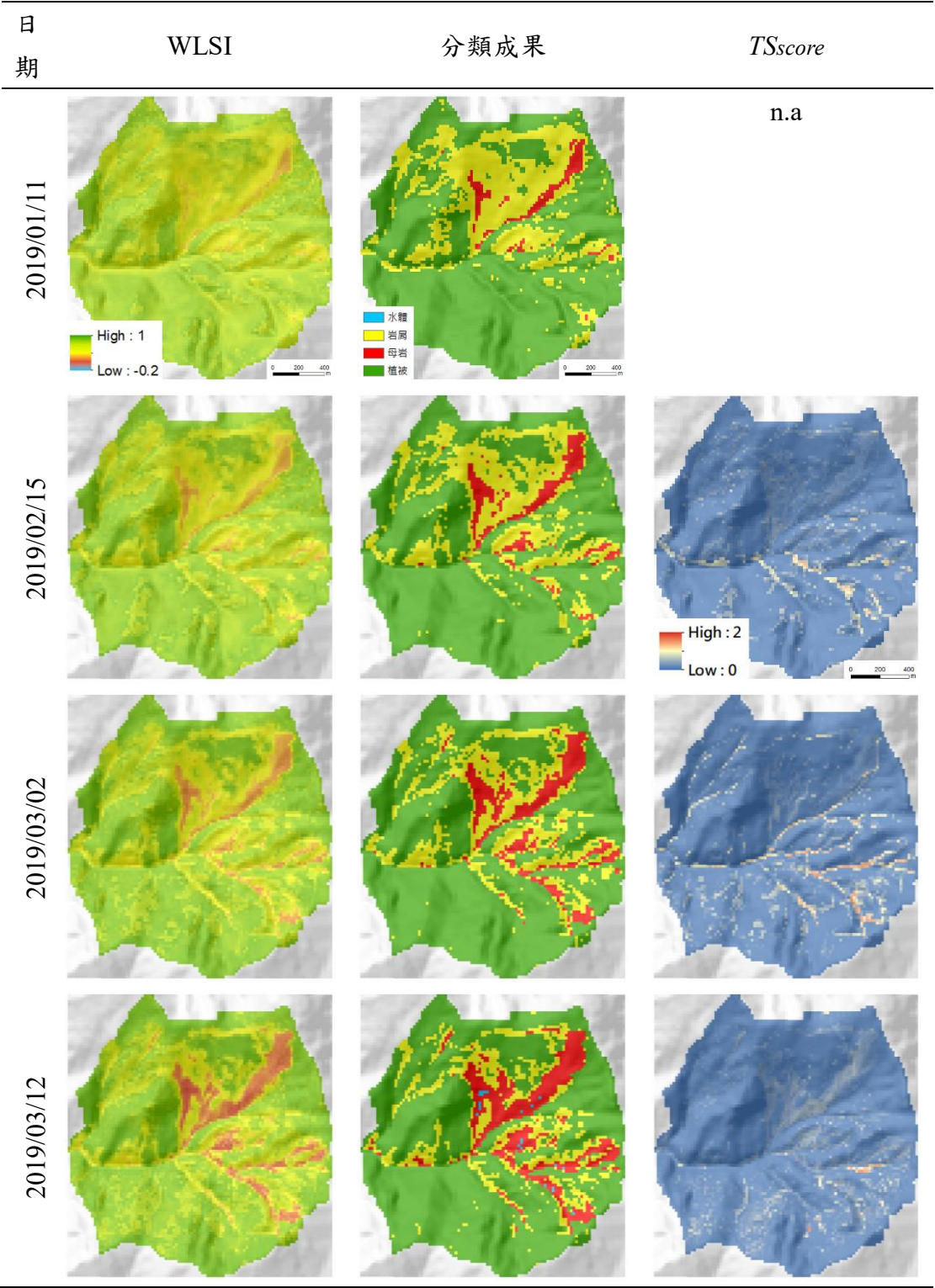
編號	拍攝日期	影像編號
1	2019/01/11	20190111T023049_20190111T023626_T50QRL
2	2019/02/15	20190215T022801_20190215T023325_T50QRL
3	2019/03/02	20190302T022619_20190302T023810_T51QTF
4	2019/03/12	20190312T022549_20190312T023852_T51QTF
5	2019/03/22	20190322T022549_20190322T023609_T50QRL
6	2019/03/27	20190327T022551_20190327T023815_T51QTF
7	2019/04/11	20190411T022559_20190411T023827_T51QTF
8	2019/04/26	20190426T022551_20190426T023827_T50QRL
9	2019/06/20	20190620T022559_20190620T023831_T50QRL
10	2019/07/15	20190715T022551_20190715T022554_T50QRL
11	2019/09/13	20190913T022551_20190913T022548_T50QRL
12	2019/10/08	20191008T022559_20191008T023650_T51QTF
13	2019/11/02	20191102T022841_20191102T023803_T50QRL
14	2019/11/12	20191112T022931_20191112T022931_T50QRL
15	2019/11/17	20191117T022949_20191117T022951_T50QRL
16	2019/12/12	20191212T023111_20191212T023106_T50QRL
17	2019/12/17	20191217T023109_20191217T023110_T50QRL
18	2020/01/06	20200106T023059_20200106T023059_T51QTF
19	2020/01/11	20200111T023051_20200111T023047_T51QTF
20	2020/01/16	20200116T023029_20200116T023031_T50QRL
21	2020/01/21	20200121T023011_20200121T023013_T50QRL
22	2020/01/31	20200131T022931_20200131T023848_T51QTF
23	2020/02/15	20200215T022759_20200215T023959_T50QRL
24	2020/02/20	20200220T022731_20200220T024000_T50QRL
25	2020/02/25	20200225T022659_20200225T023812_T50QRL
26	2020/03/01	20200301T022621_20200301T024038_T51QTF
27	2020/03/16	20200316T022549_20200316T023705_T51QTF
28	2020/03/26	20200326T022549_20200326T023712_T50QRL
29	2020/04/20	20200420T022551_20200420T023824_T51QTF
30	2020/05/05	20200505T022549_20200505T023755_T50QRL
31	2020/05/15	20200515T022549_20200515T023822_T51QTF
32	2020/08/13	20200813T022549_20200813T023833_T51QTF
33	2020/09/07	20200907T022551_20200907T023834_T51QTF
34	2020/10/02	20201002T022549_20201002T023833_T50QRL

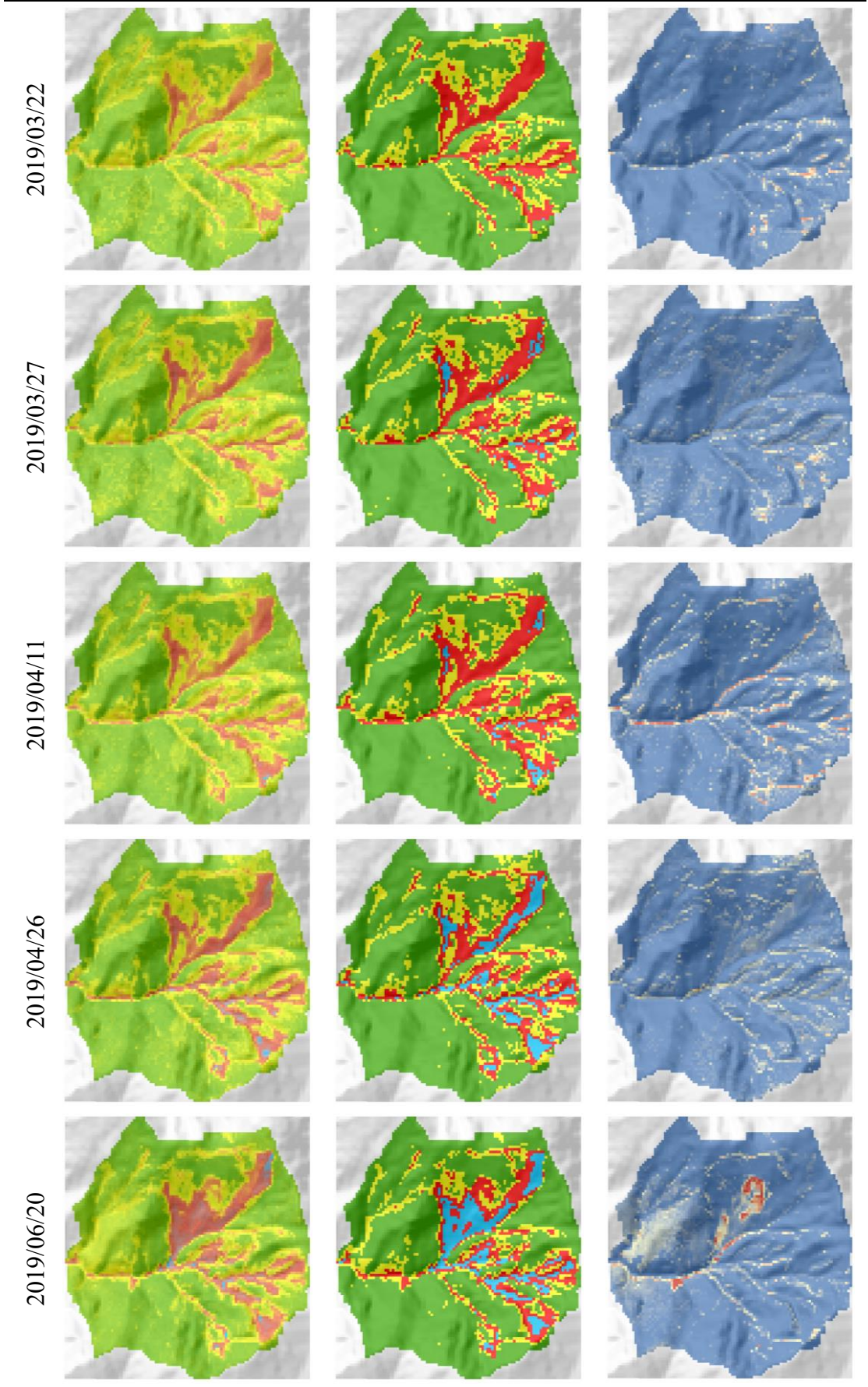
35	2020/10/12	20201012T022629_20201012T023913_T50QRL
36	2020/11/01	20201101T022839_20201101T022837_T51QTF
37	2020/11/26	20201126T023031_20201126T023033_T50QRL
38	2020/12/26	20201226T023121_20201226T023117_T51QTF
39	2021/01/05	20210105T023111_20210105T023105_T51QTF
40	2021/01/10	20210110T023059_20210110T023053_T50QRL
41	2021/01/15	20210115T023041_20210115T023713_T51QTF
42	2021/01/20	20210120T023019_20210120T023019_T50QRL
43	2021/01/25	20210125T023001_20210125T023000_T50QRL
44	2021/02/04	20210204T022911_20210204T024032_T51QTF
45	2021/02/09	20210209T022839_20210209T022837_T50QRL
46	2021/02/19	20210219T022729_20210219T023951_T51QTF
47	2021/03/01	20210301T022629_20210301T023904_T50QRL
48	2021/03/11	20210311T022549_20210311T023829_T50QRL
49	2021/03/16	20210316T022551_20210316T023226_T51QTF
50	2021/03/26	20210326T022551_20210326T023821_T50QRL
51	2021/05/10	20210510T022549_20210510T023828_T50QRL
52	2021/05/15	20210515T022551_20210515T023226_T50QRL
53	2021/05/20	20210520T022549_20210520T023830_T51QTF
54	2021/07/9	20210709T022549_20210709T023832_T51QTF
55	2021/07/14	20210714T022551_20210714T023837_T51QTF
56	2021/08/28	20210828T022549_20210828T023828_T50QRL
57	2021/09/27	20210927T022549_20210927T023829_T51QTF
58	2021/11/06	20211106T022859_20211106T022902_T50QRL
59	2021/11/16	20211106T022859_20211106T022902_T50QRL
60	2021/12/01	20211201T023051_20211201T023046_T51QTF
61	2021/12/06	20211206T023059_20211206T023054_T50QRL
62	2021/12/11	20211211T023111_20211211T023816_T50QRL
63	2021/12/16	20211216T023109_20211216T023109_T50QRL
64	2021/12/31	20211231T023121_20211231T023806_T51QTF
65	2022/01/10	20220110T023101_20220110T023721_T50QRL
66	2022/01/15	20220115T023039_20220115T023035_T50QRL
67	2022/03/01	20220301T022631_20220301T023903_T50QRL
68	2022/03/11	20220311T022551_20220311T023921_T50QRL
69	2022/04/25	20220425T022549_20220425T023824_T50QRL
70	2022/07/24	20220724T022539_20220724T023819_T50QRL

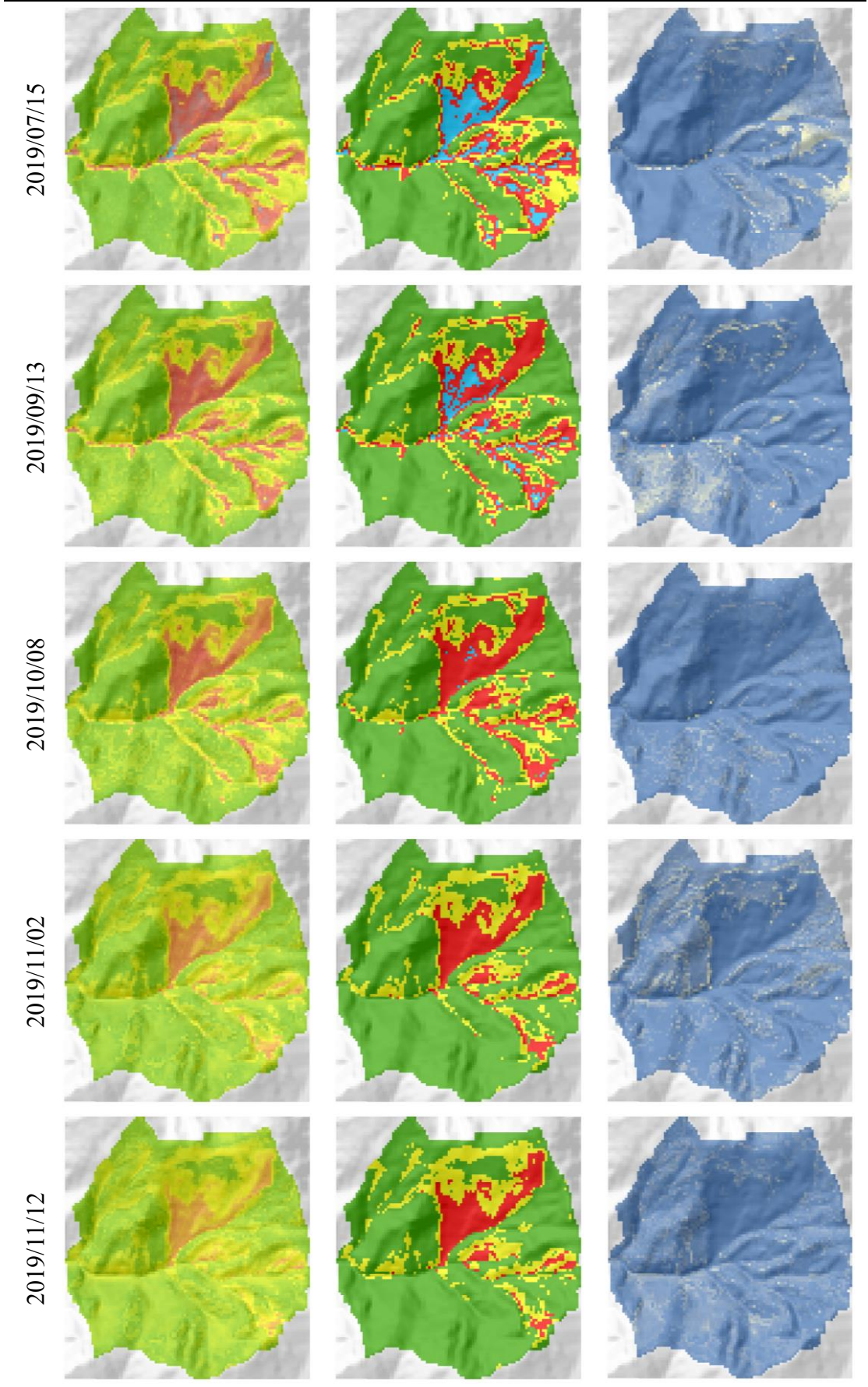
71	2022/08/23	20220823T022529_20220823T023815_T50QRL
72	2022/09/27	20220927T022541_20220927T023810_T50QRL
73	2022/11/16	20221116T022951_20221116T023643_T50QRL
74	2022/12/26	20221226T023121_20221226T023806_T51QTF
75	2023/01/15	20230115T023041_20230115T023728_T50QRL
76	2023/01/30	20230130T022939_20230130T023625_T51QTF
77	2023/02/09	20230209T022839_20230209T023531_T50QRL
78	2023/02/24	20230224T022701_20230224T023934_T50QRL
79	2023/03/01	20230301T022629_20230301T023903_T50QRL
80	2023/03/06	20230306T022551_20230306T023822_T51QTF
81	2023/04/10	20230410T022529_20230410T023805_T50QRL
82	2023/05/05	20230505T022531_20230505T023758_T50QRL
83	2023/06/24	20230624T022531_20230624T023804_T50QRL

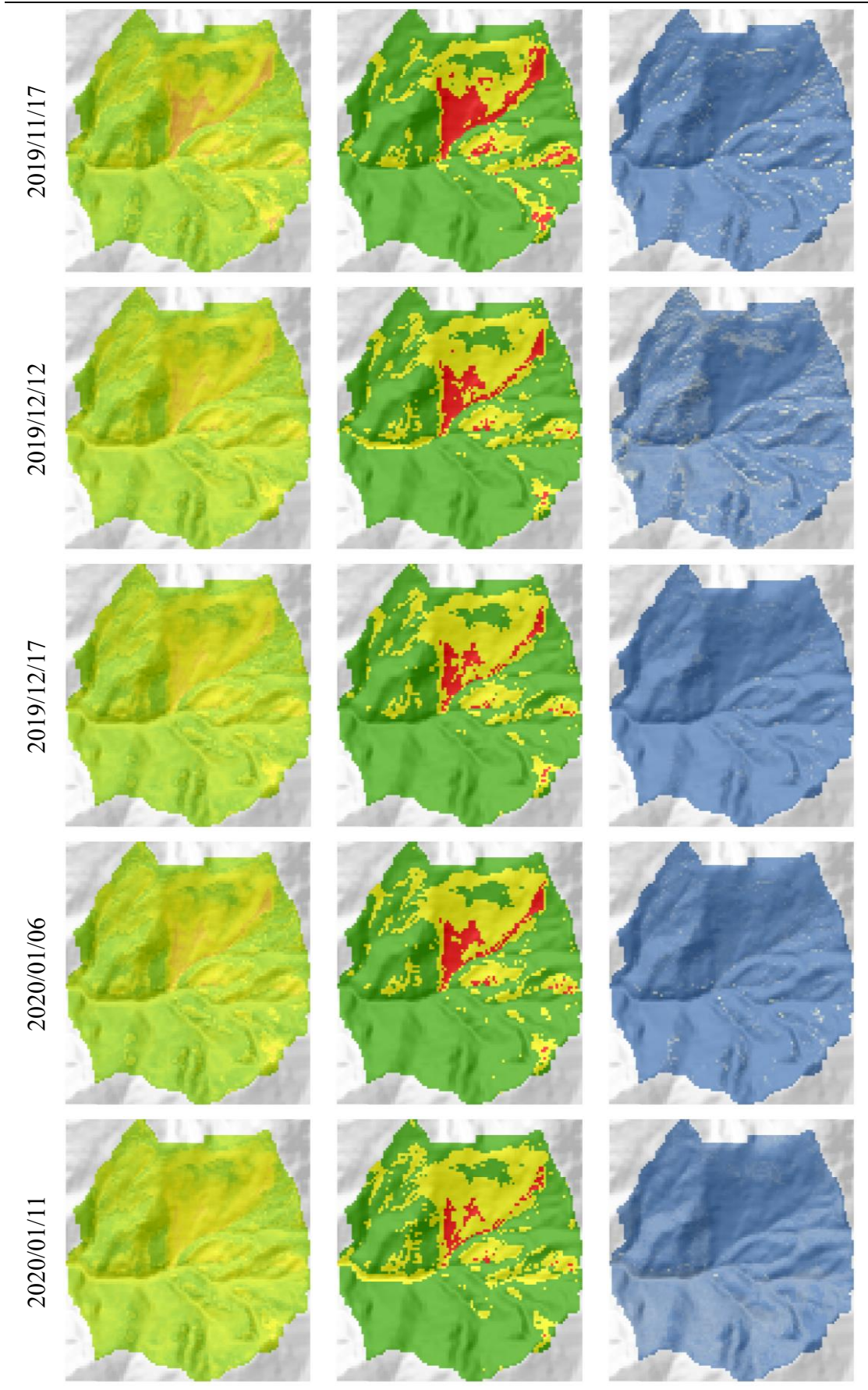
附錄三 各項指標時序圖資

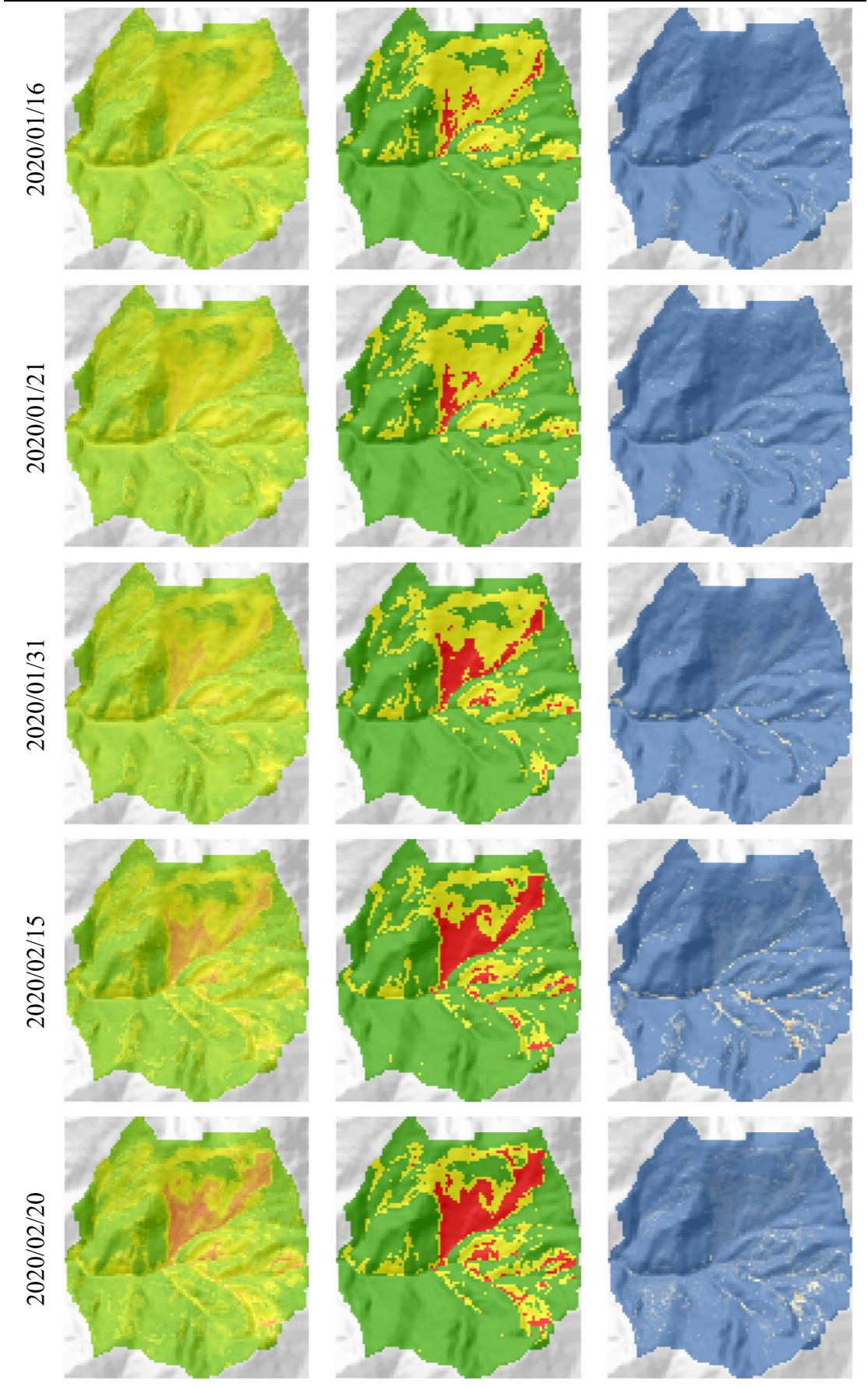
一、玉穗溪

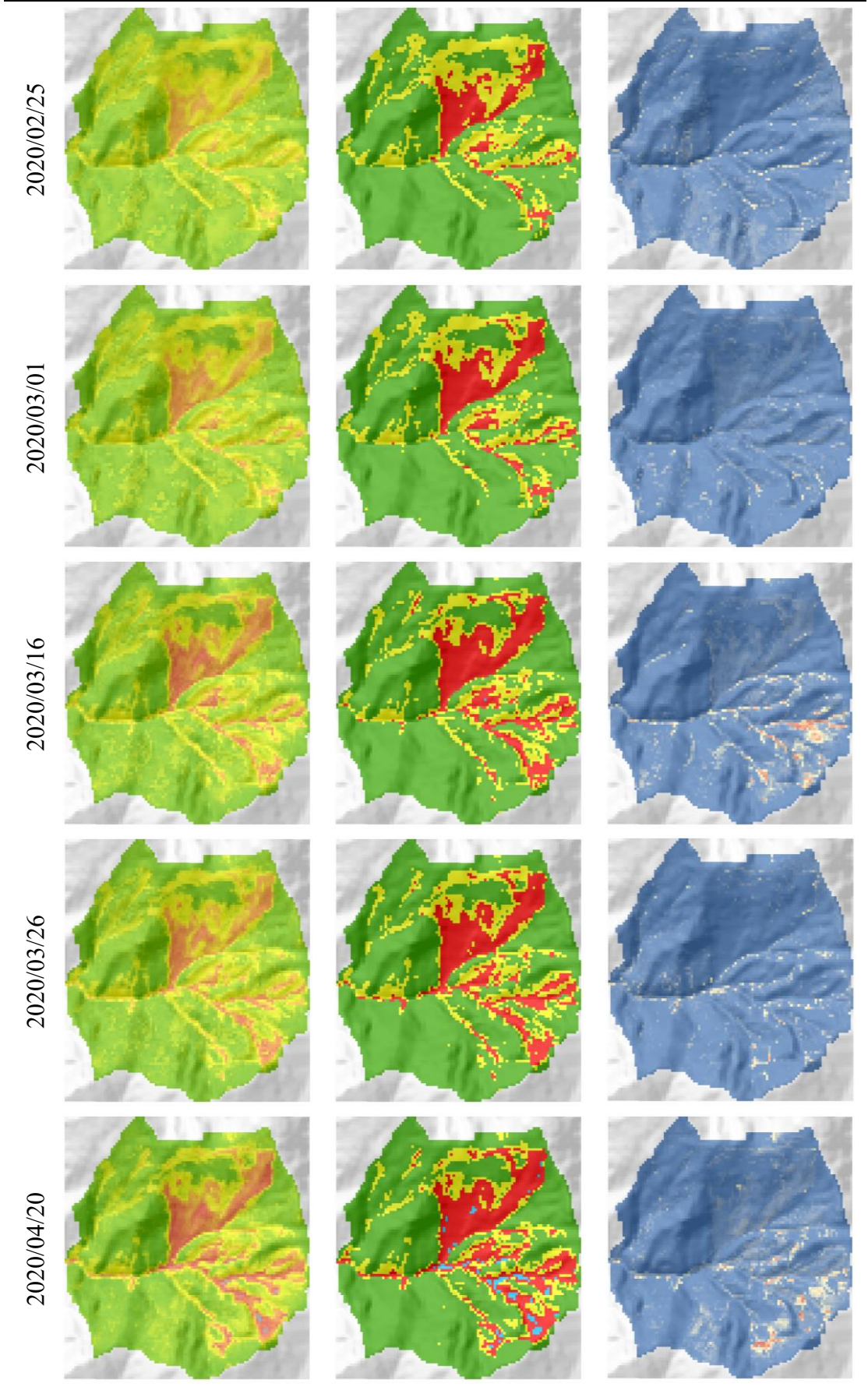


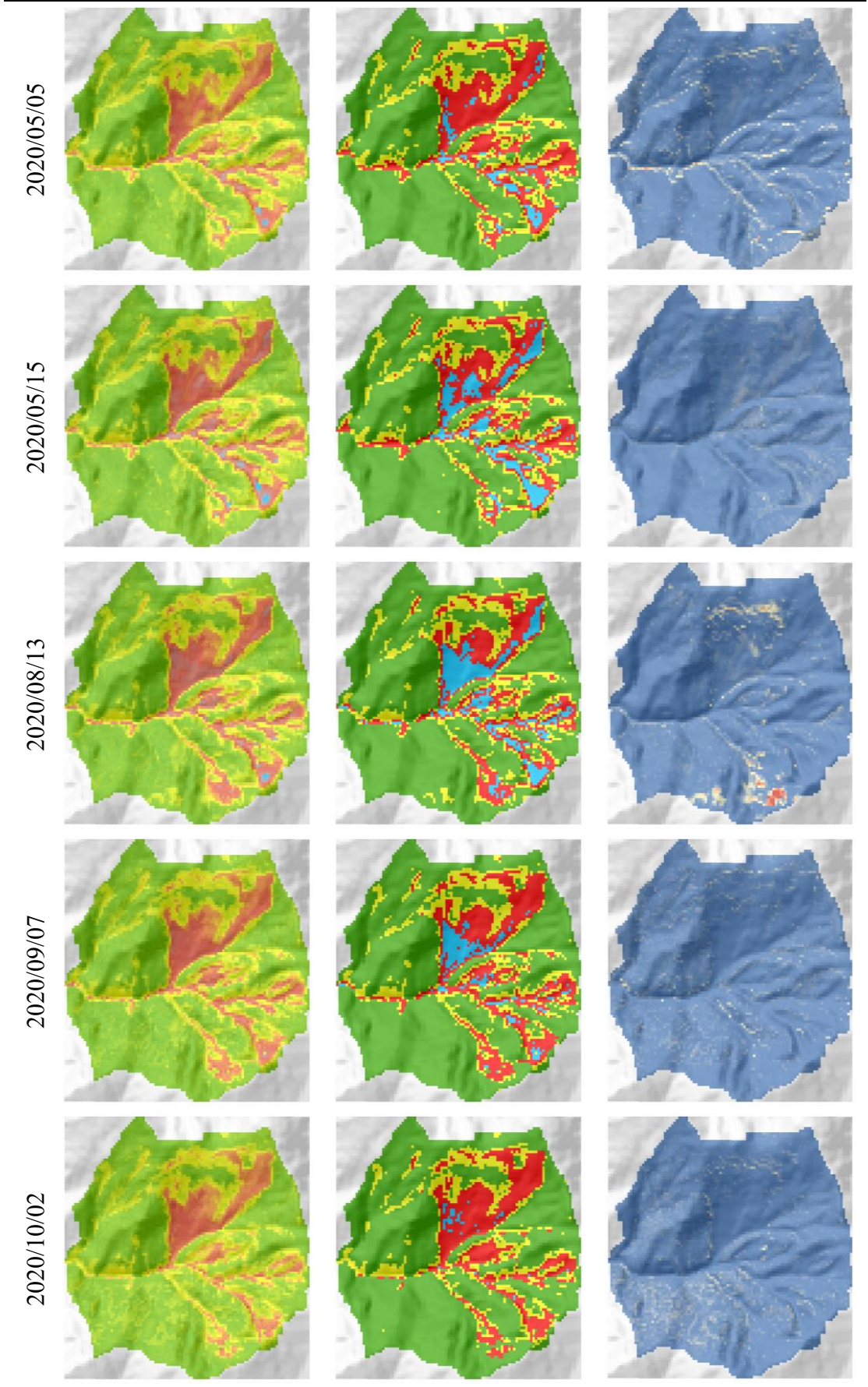


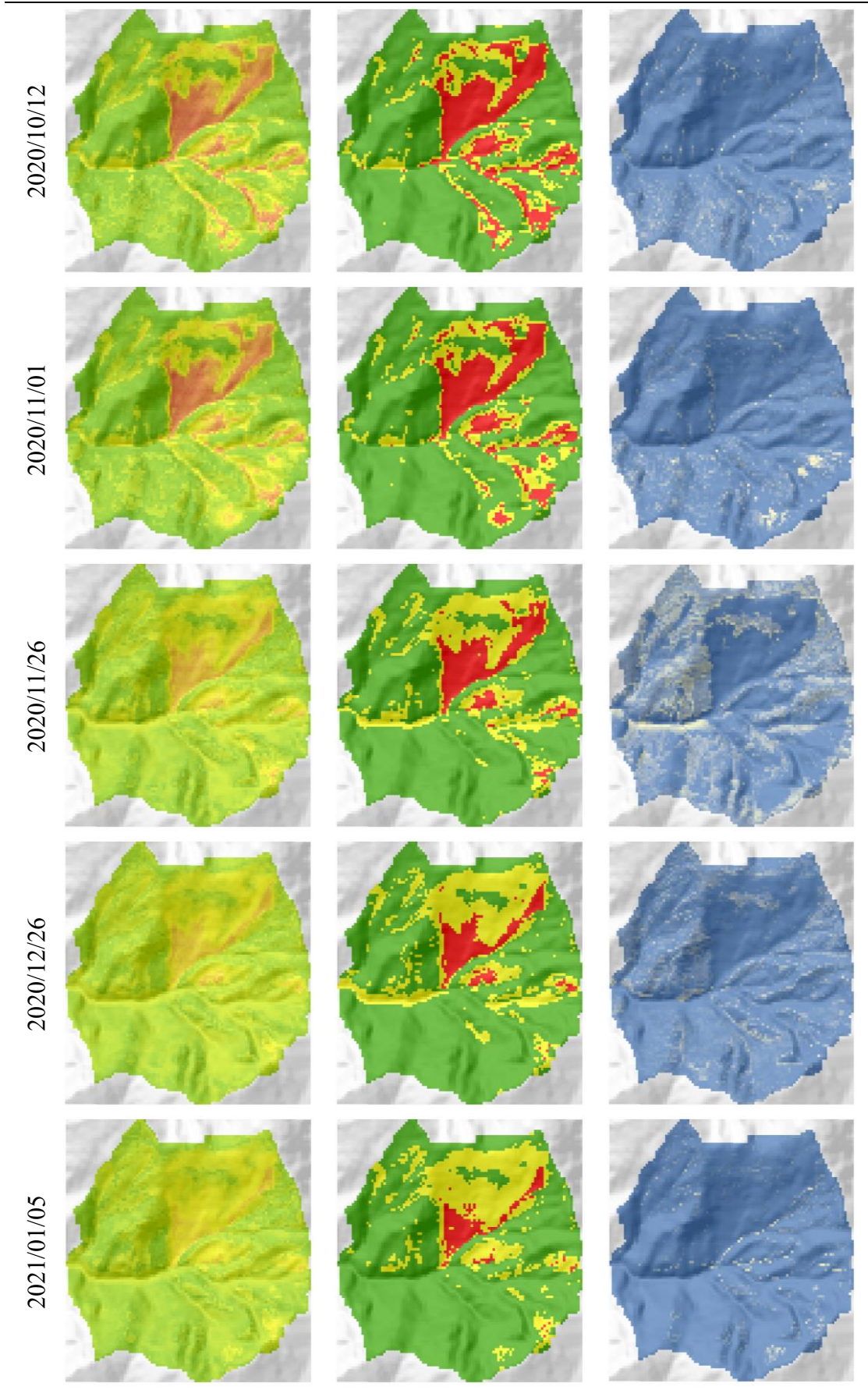


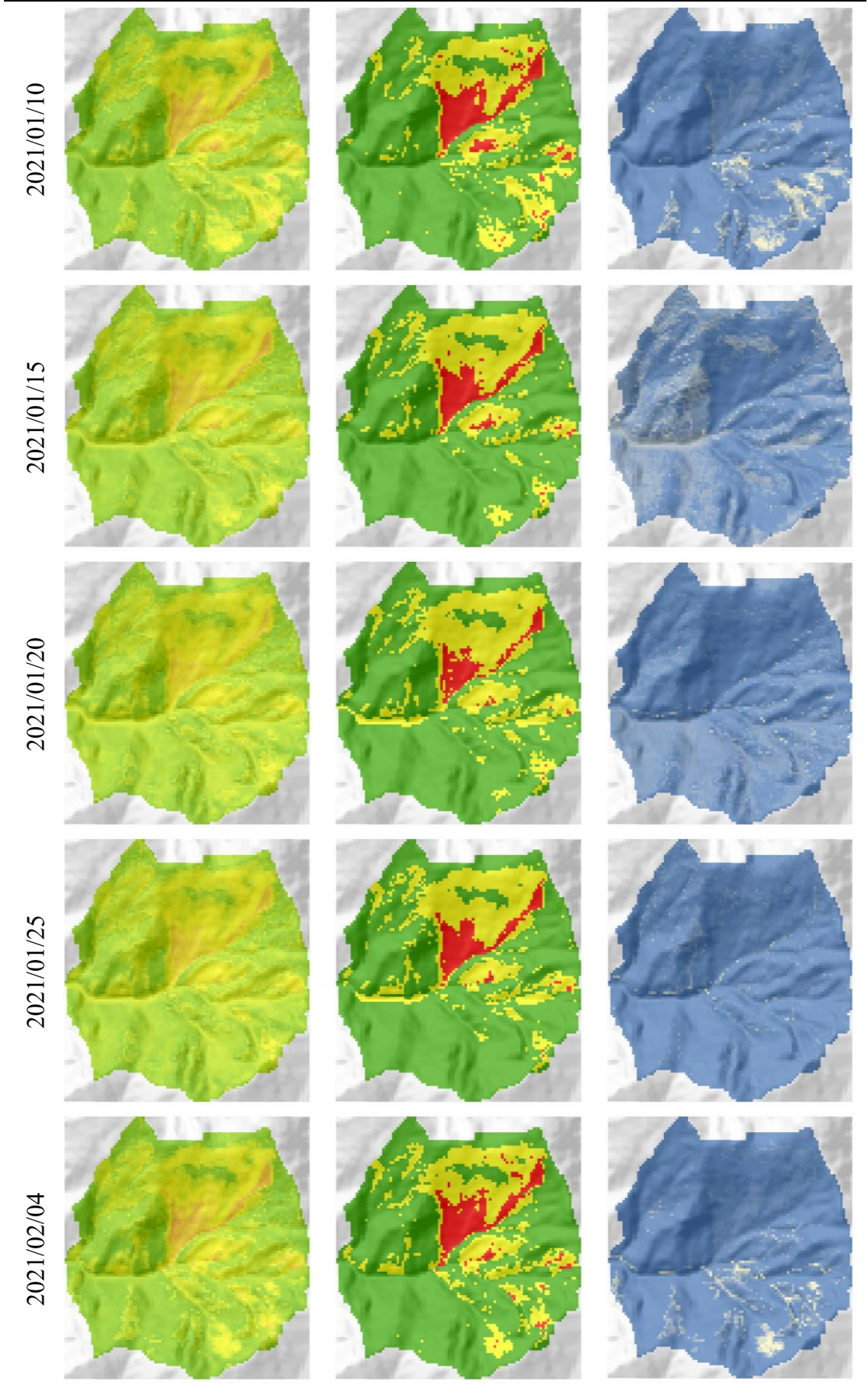


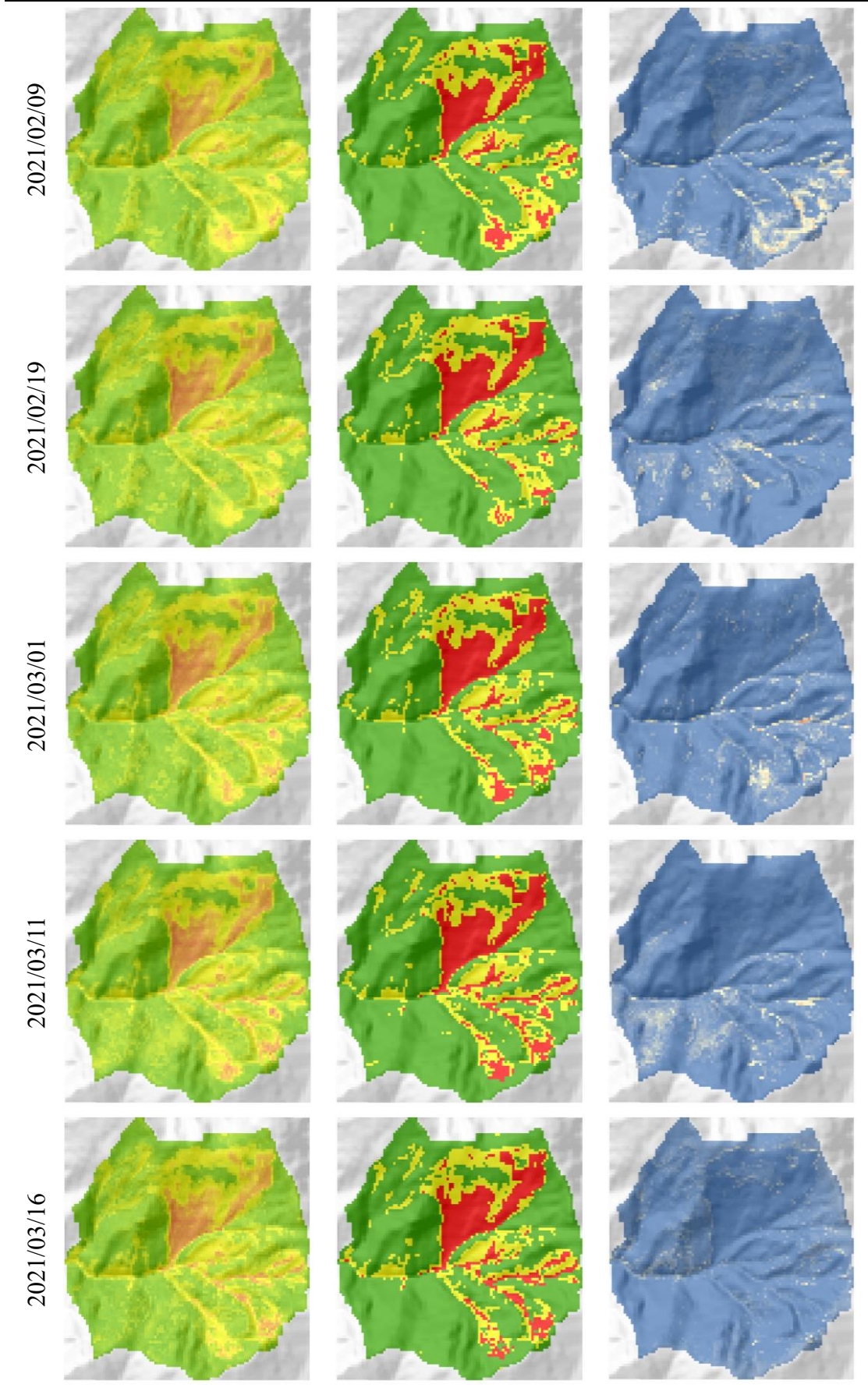


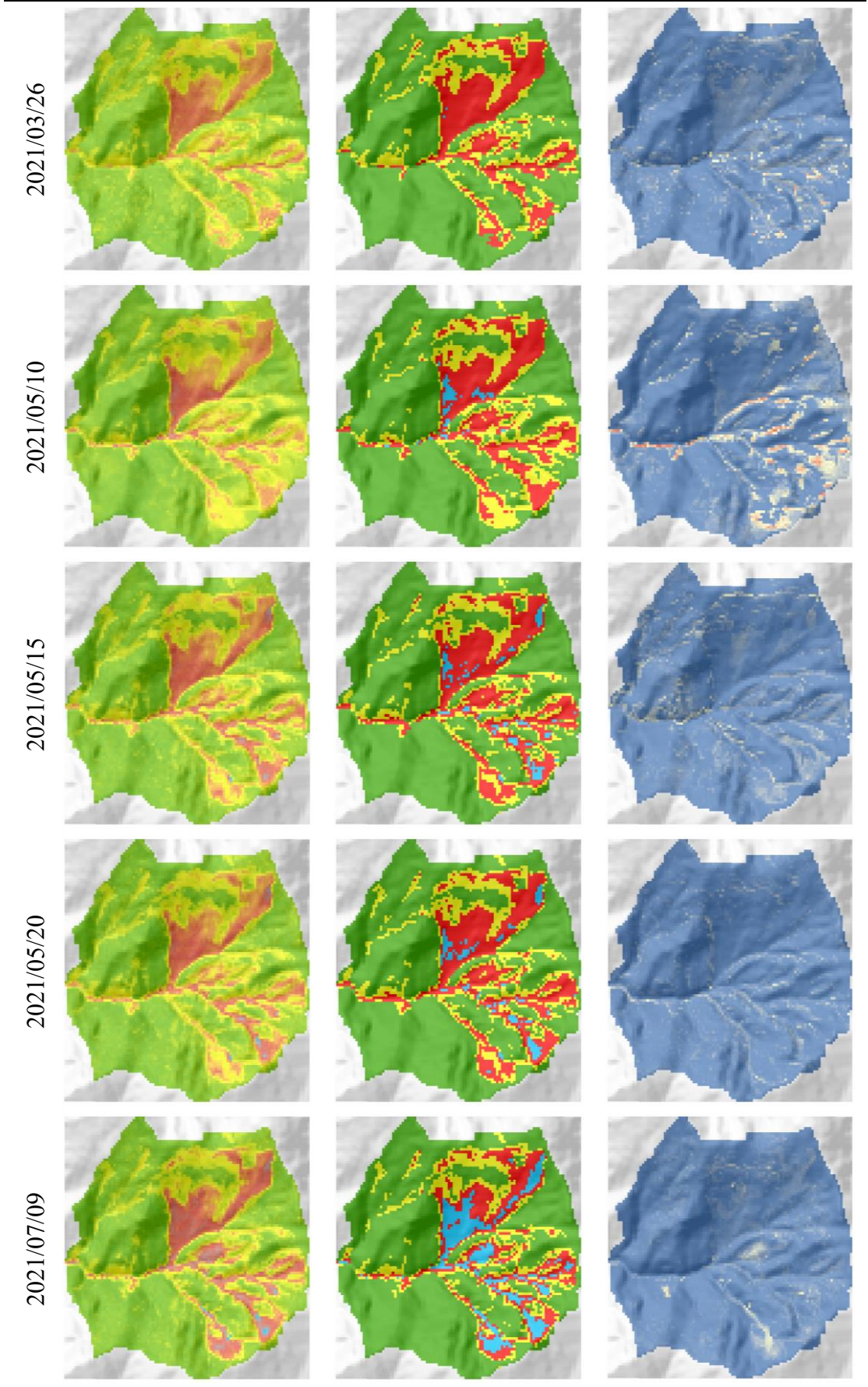


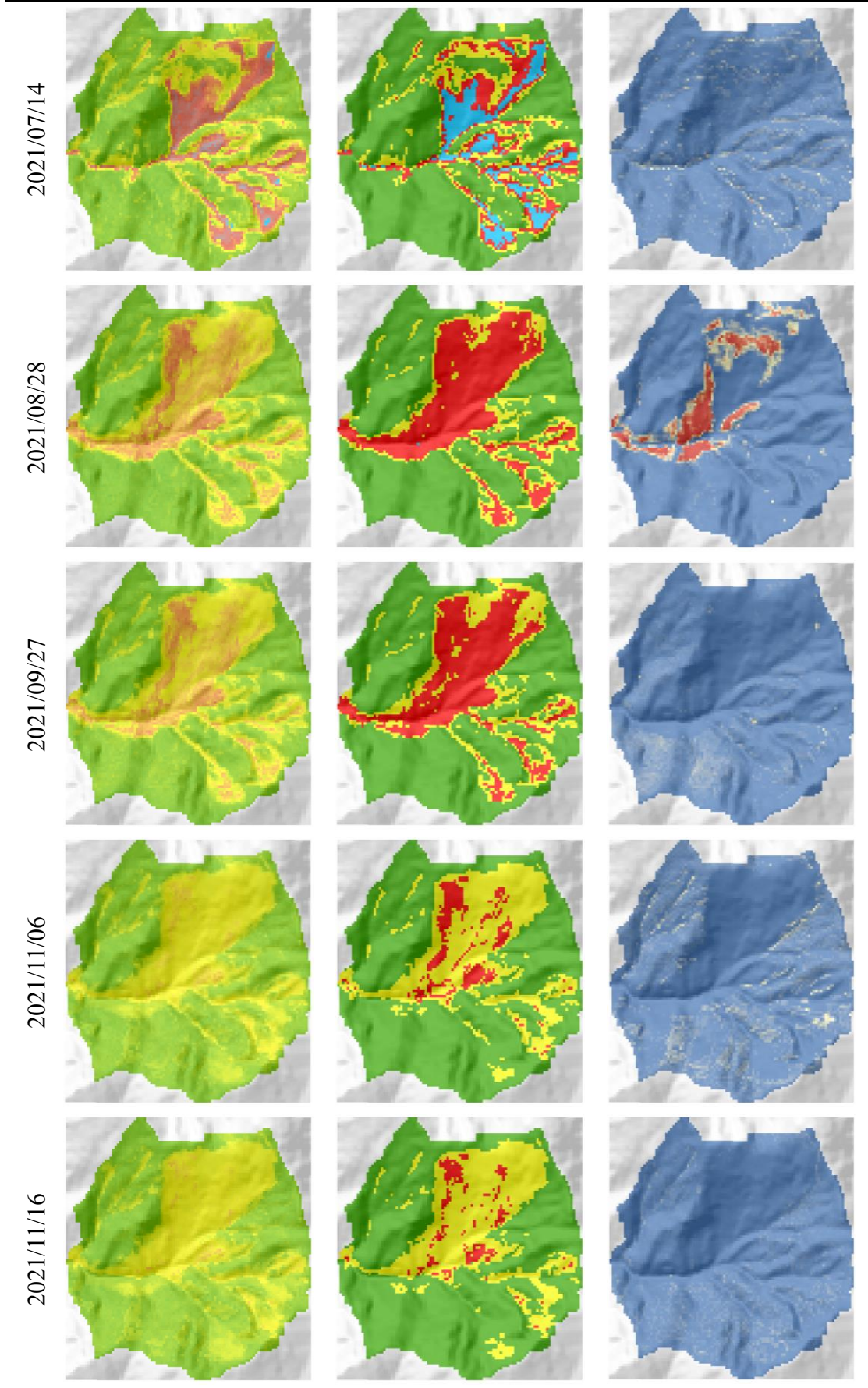


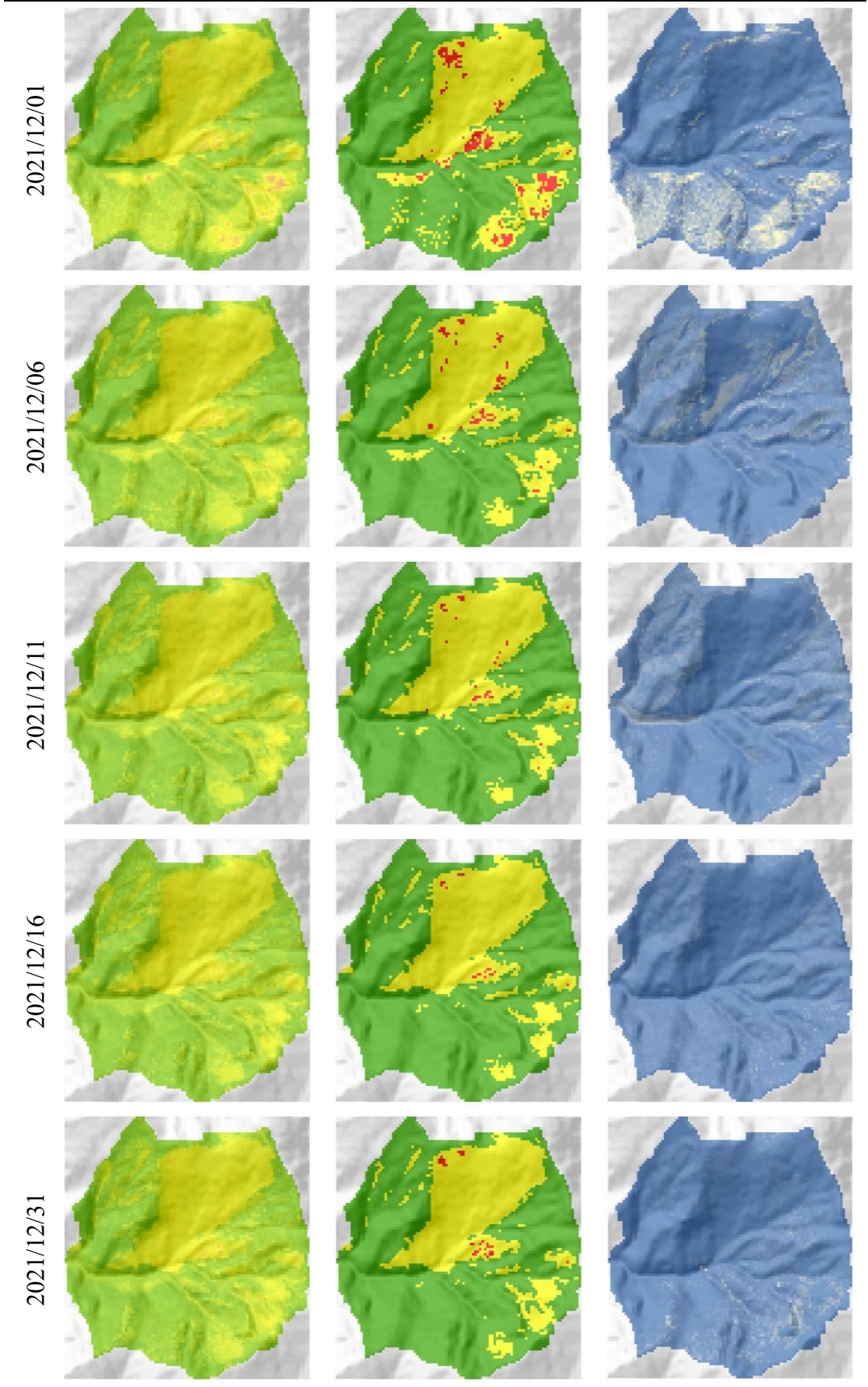


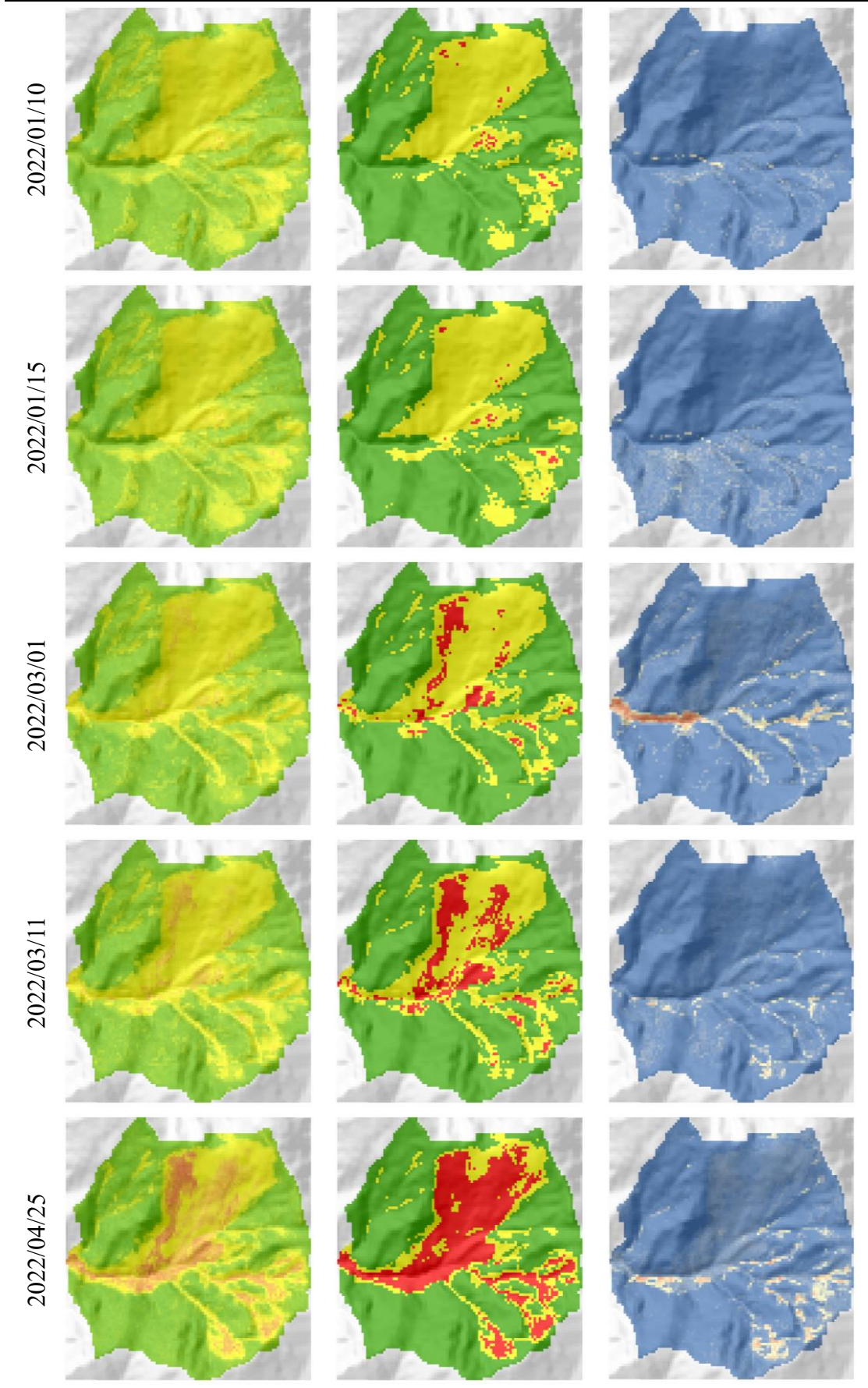


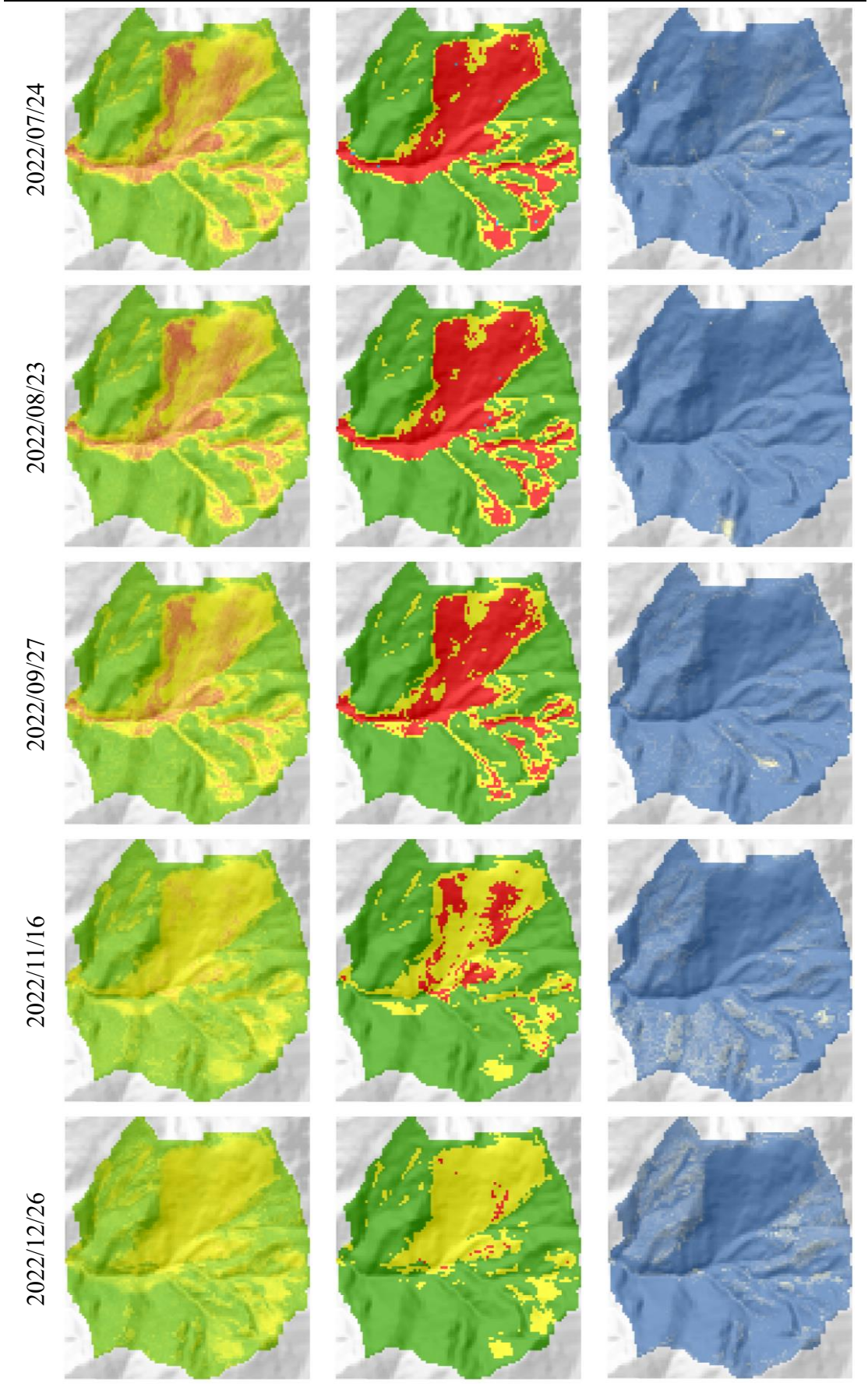


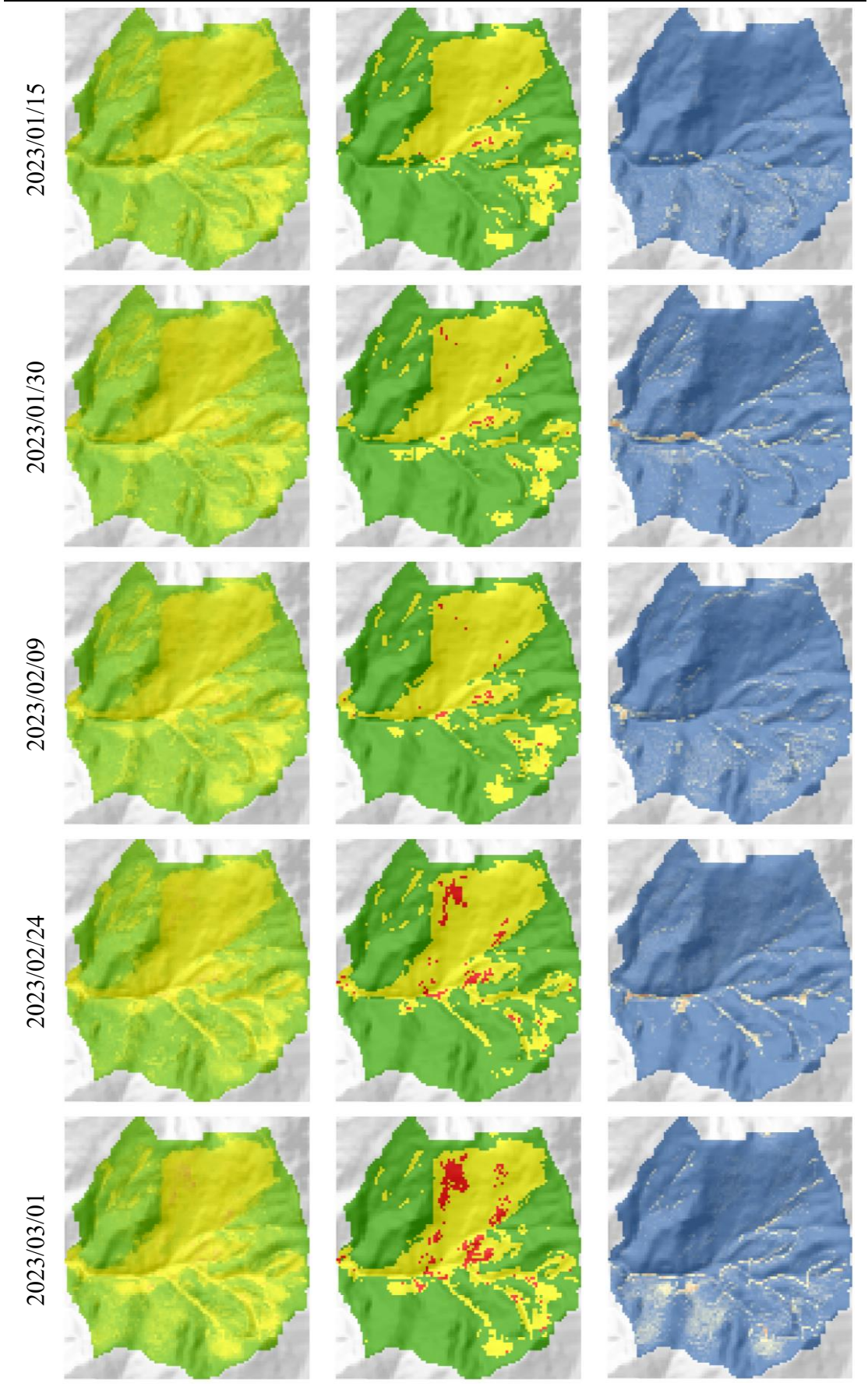


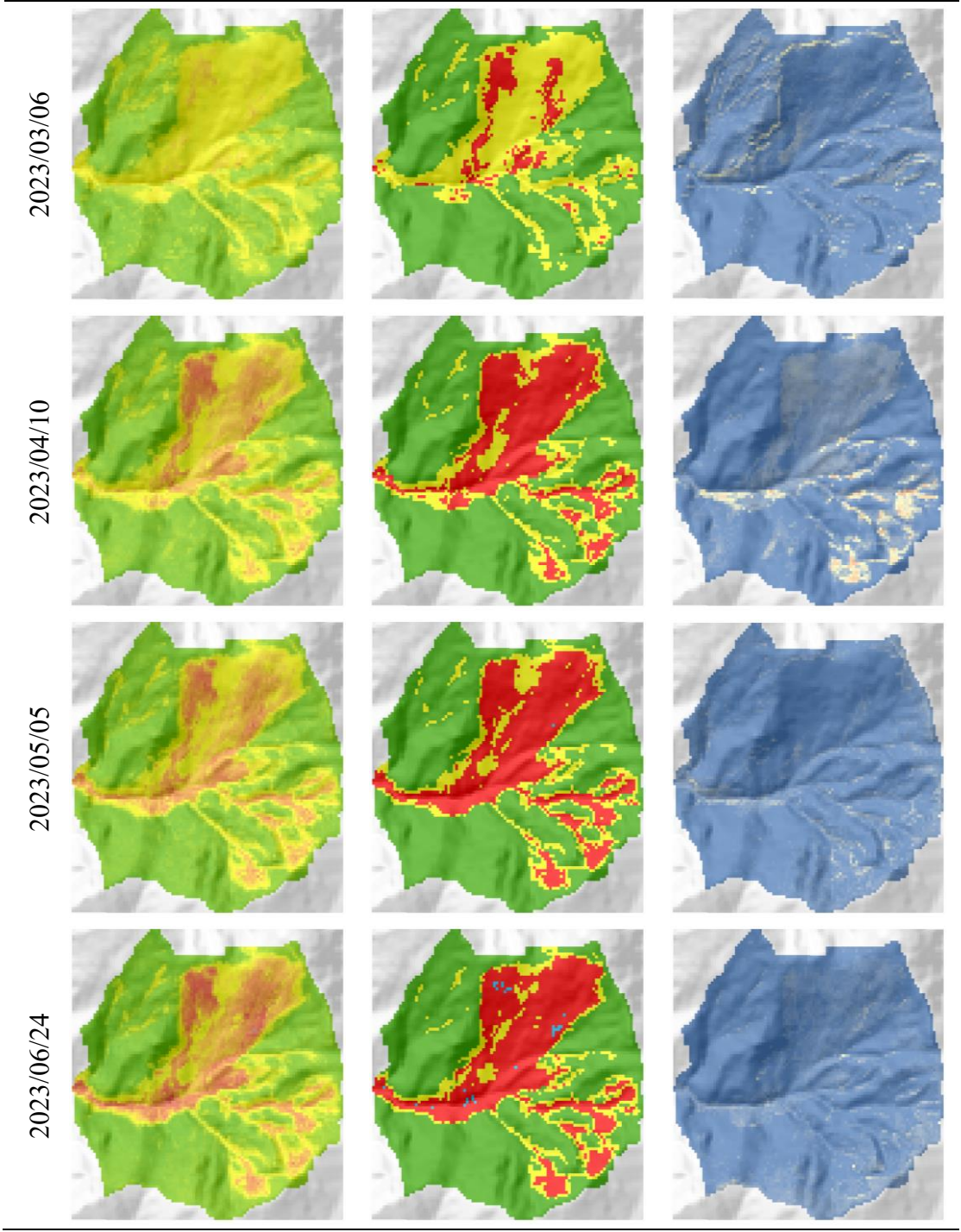




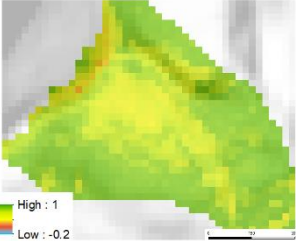
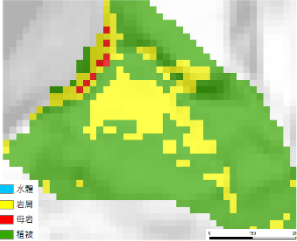
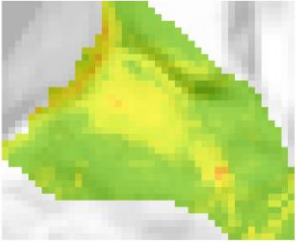
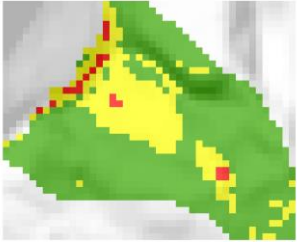
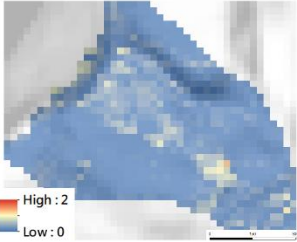
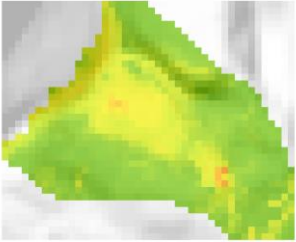
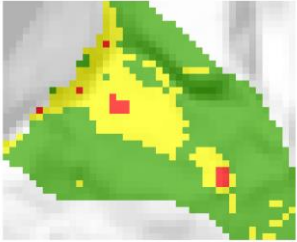
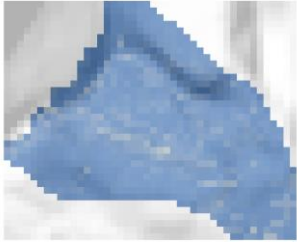
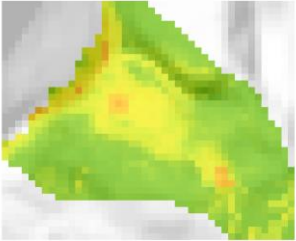
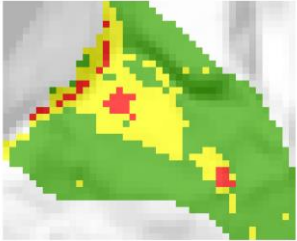
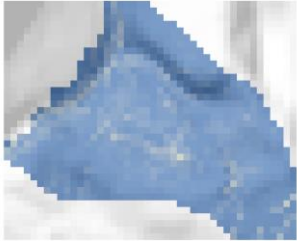
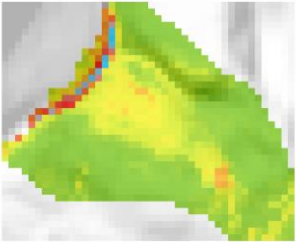
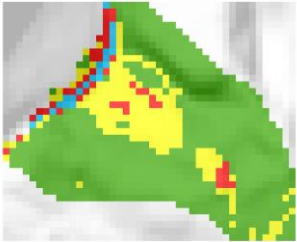
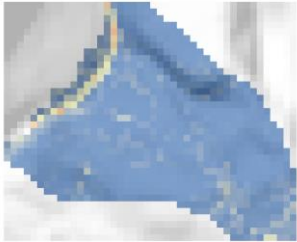
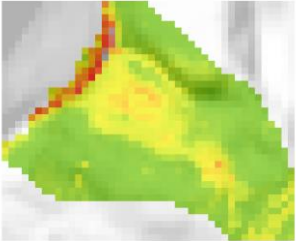
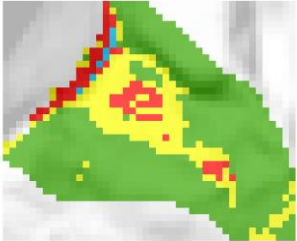
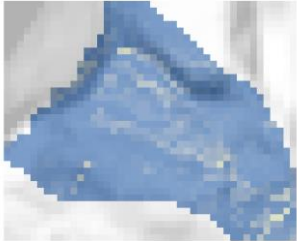


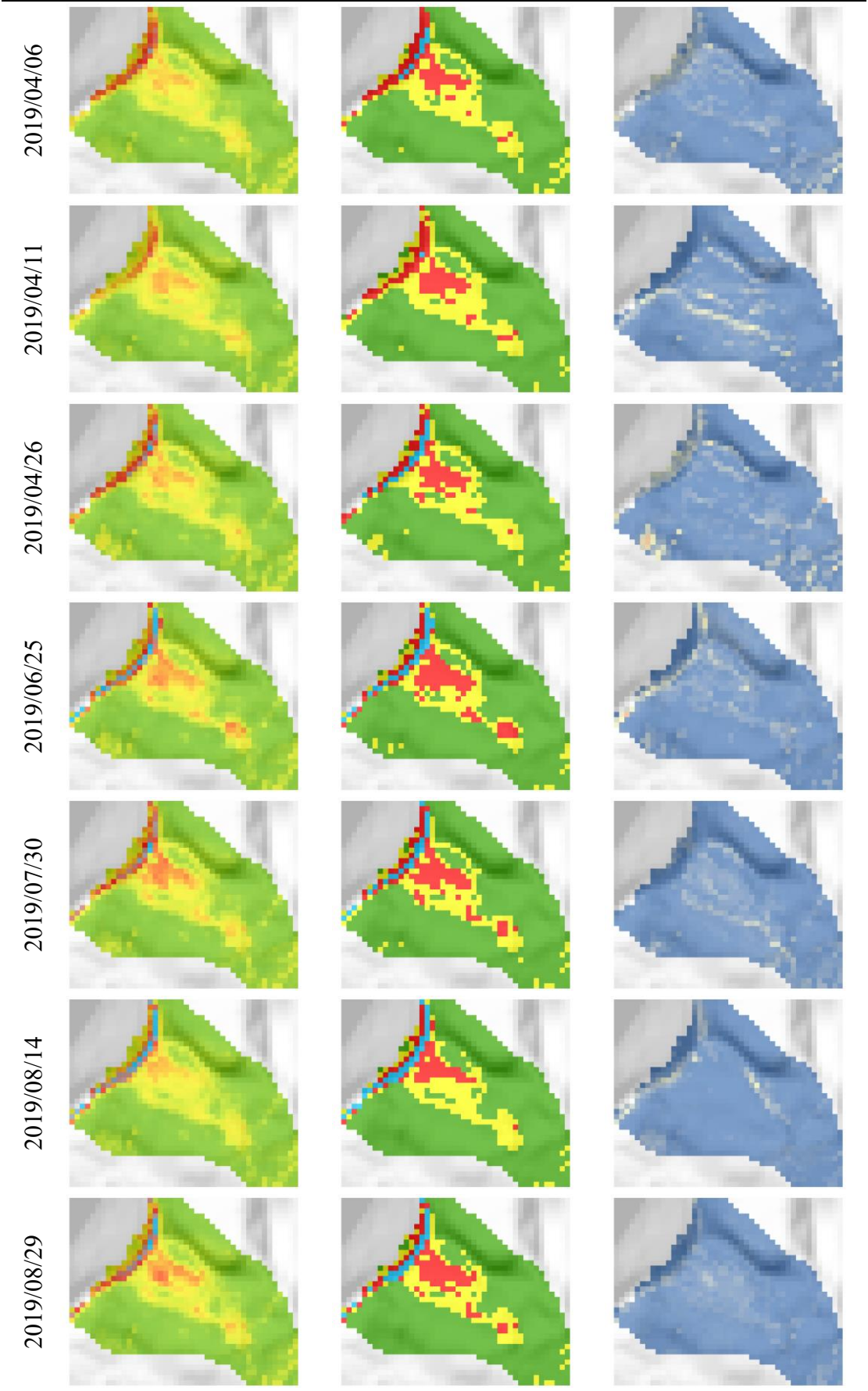


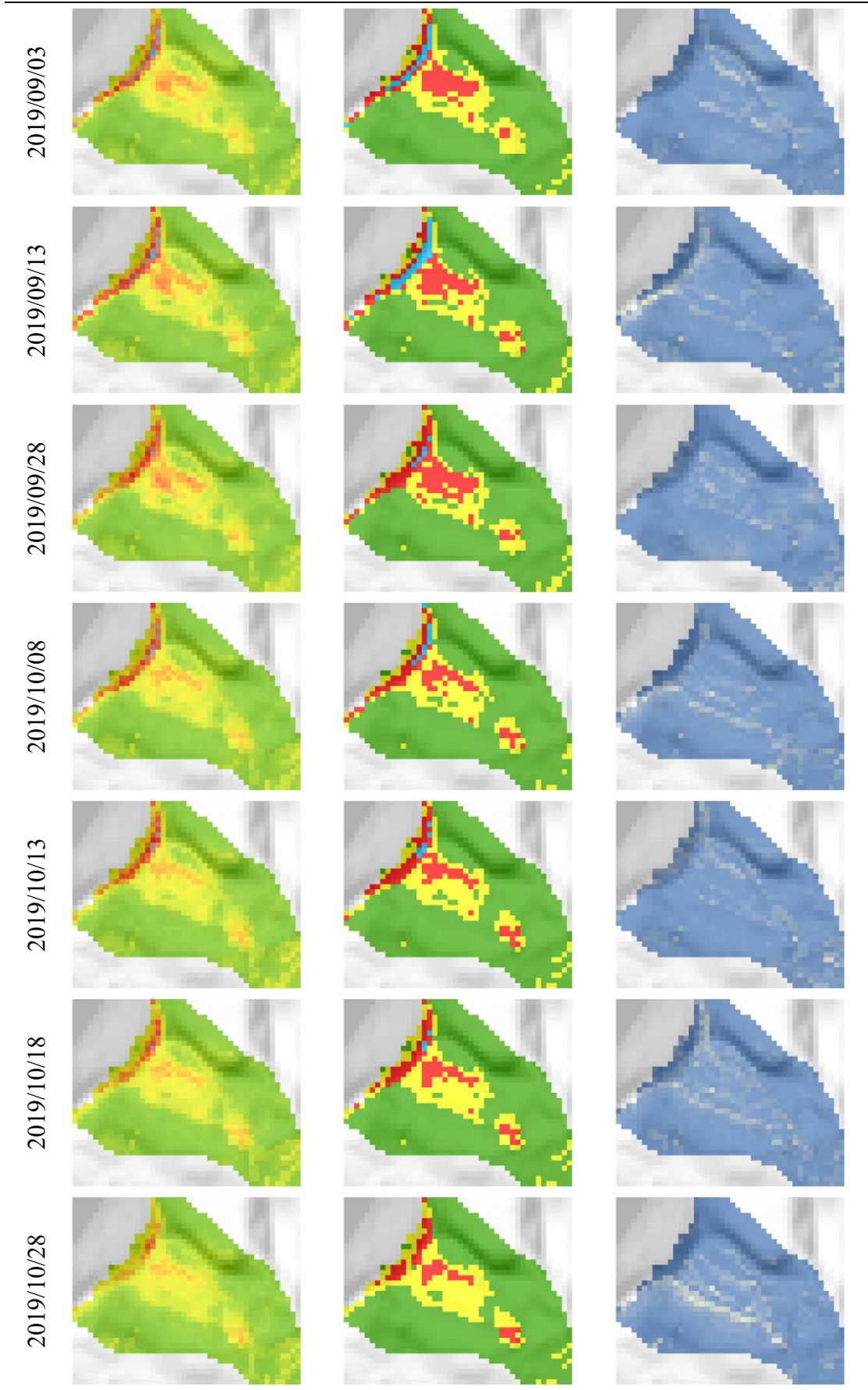


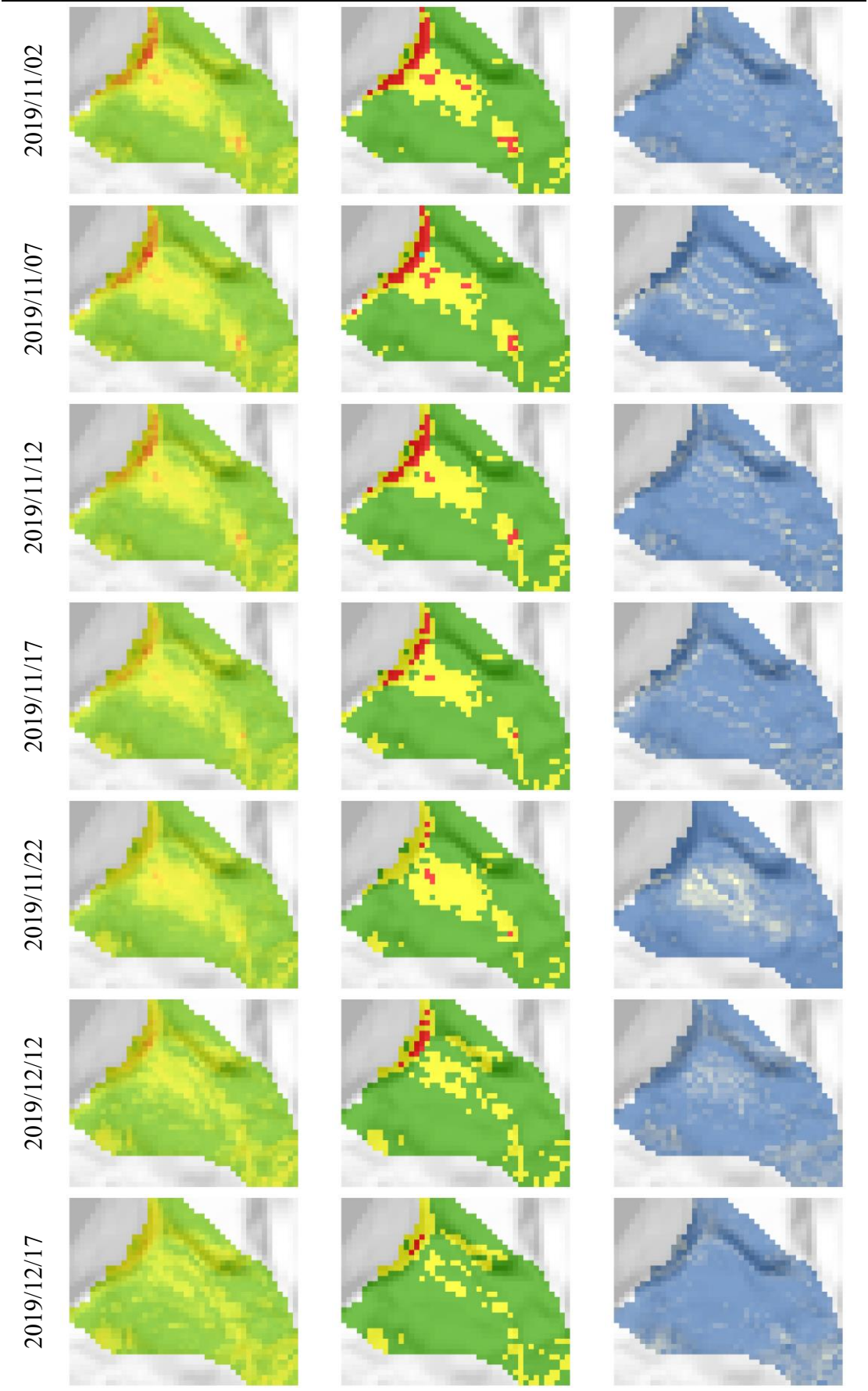


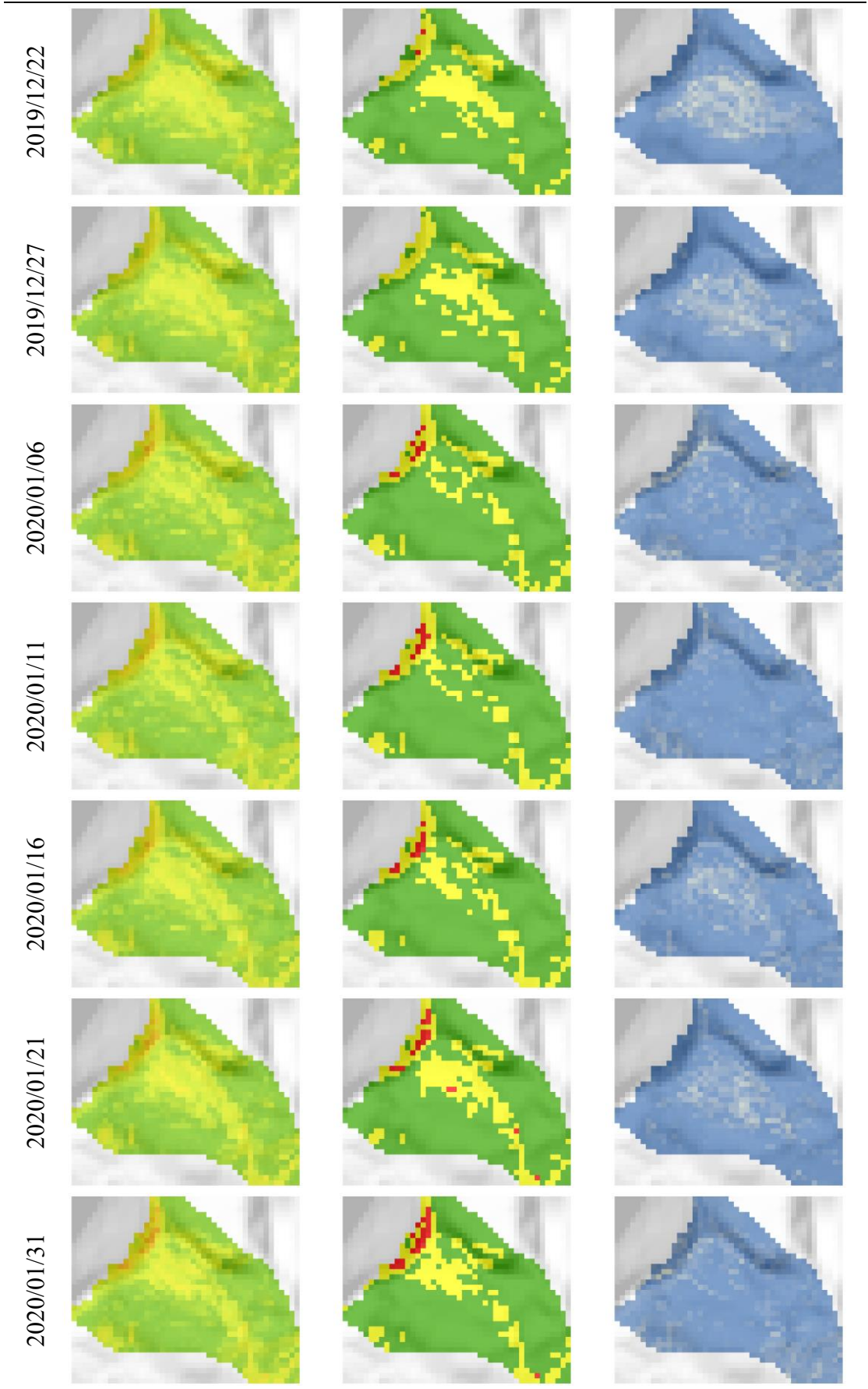
二、秀巒

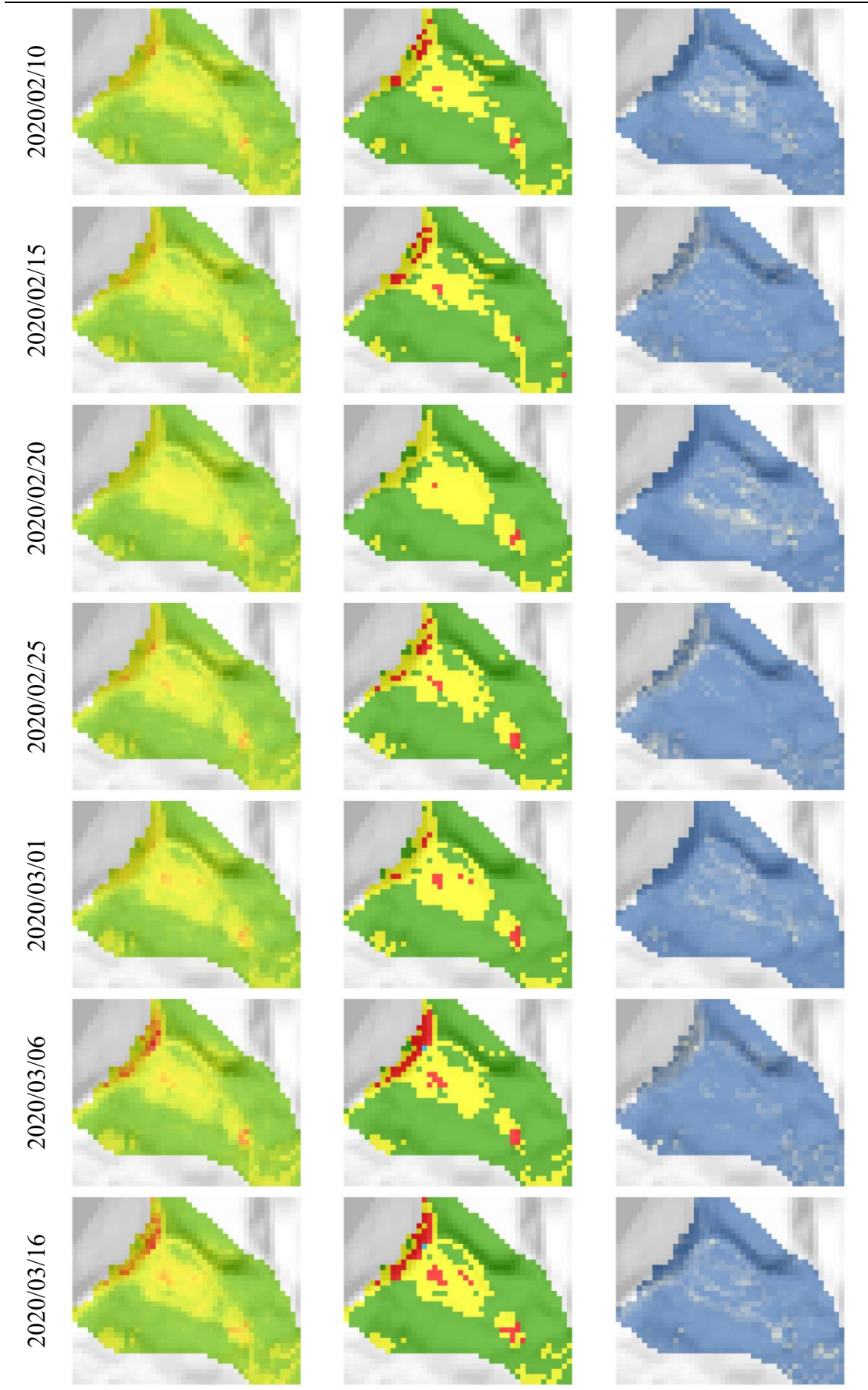
日期	WLSI	分類成果	<i>TS</i> score
2019/01/11			n.a
2019/02/15			
2019/02/20			
2019/03/02			
2019/03/12			
2019/03/27			

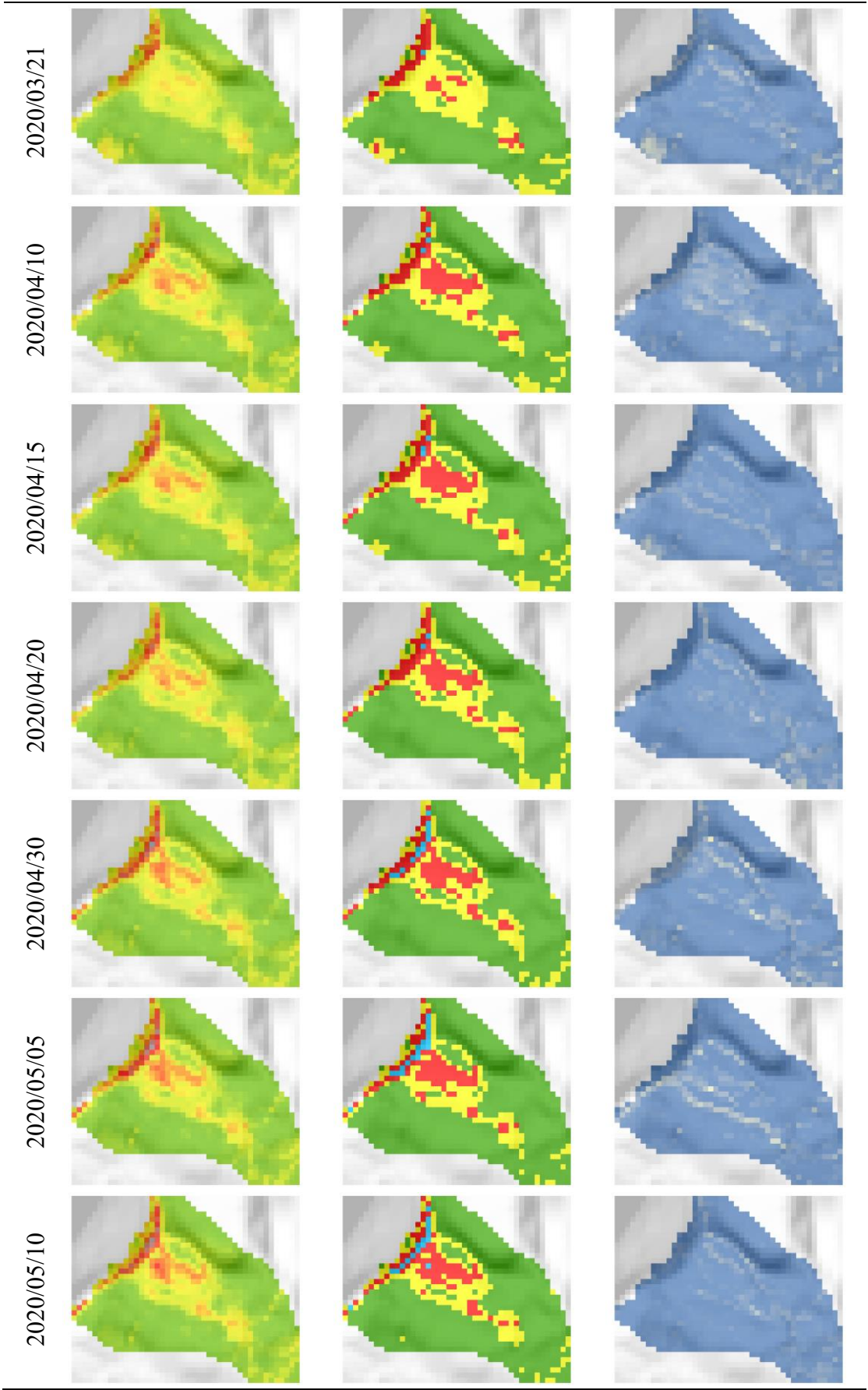


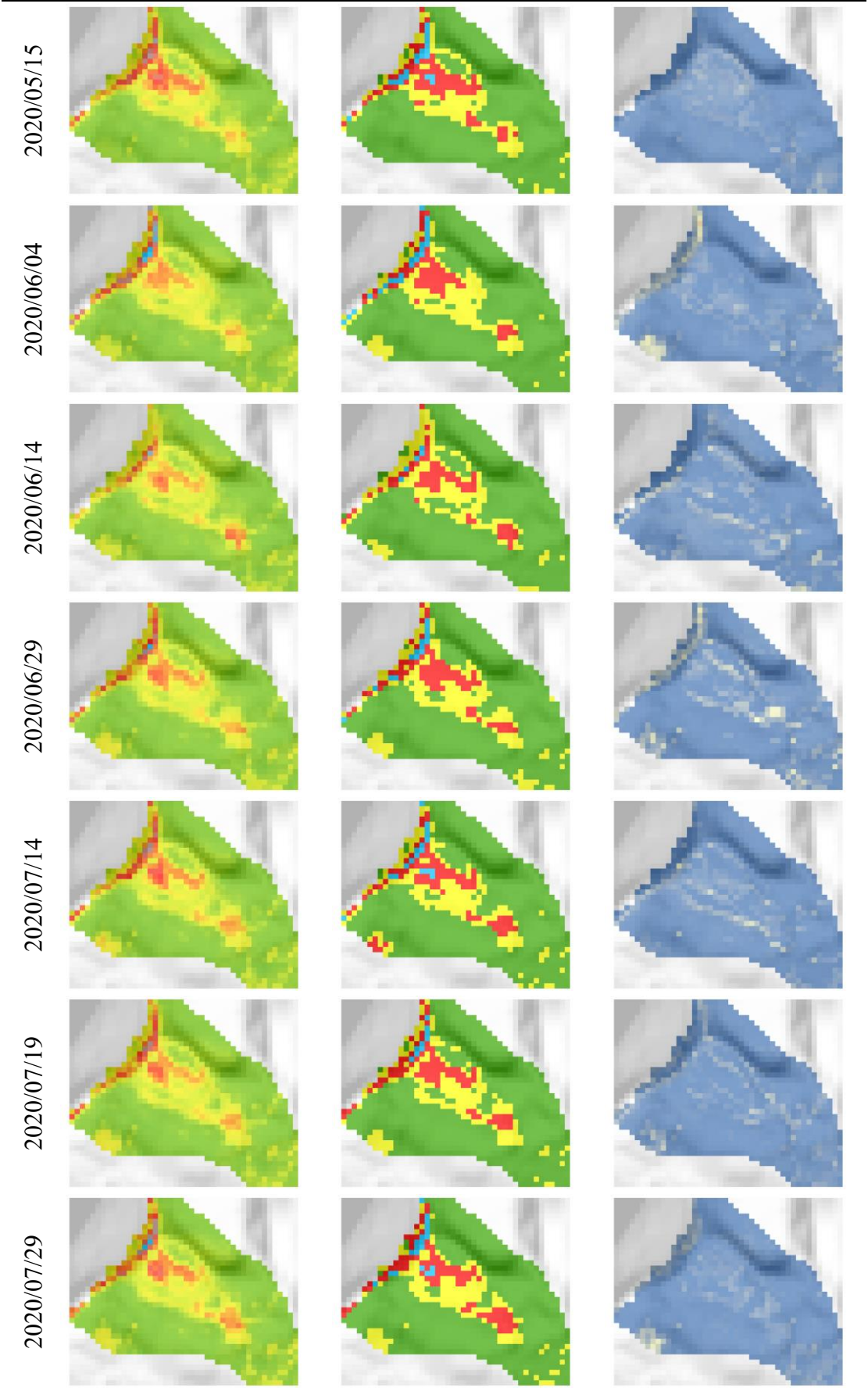


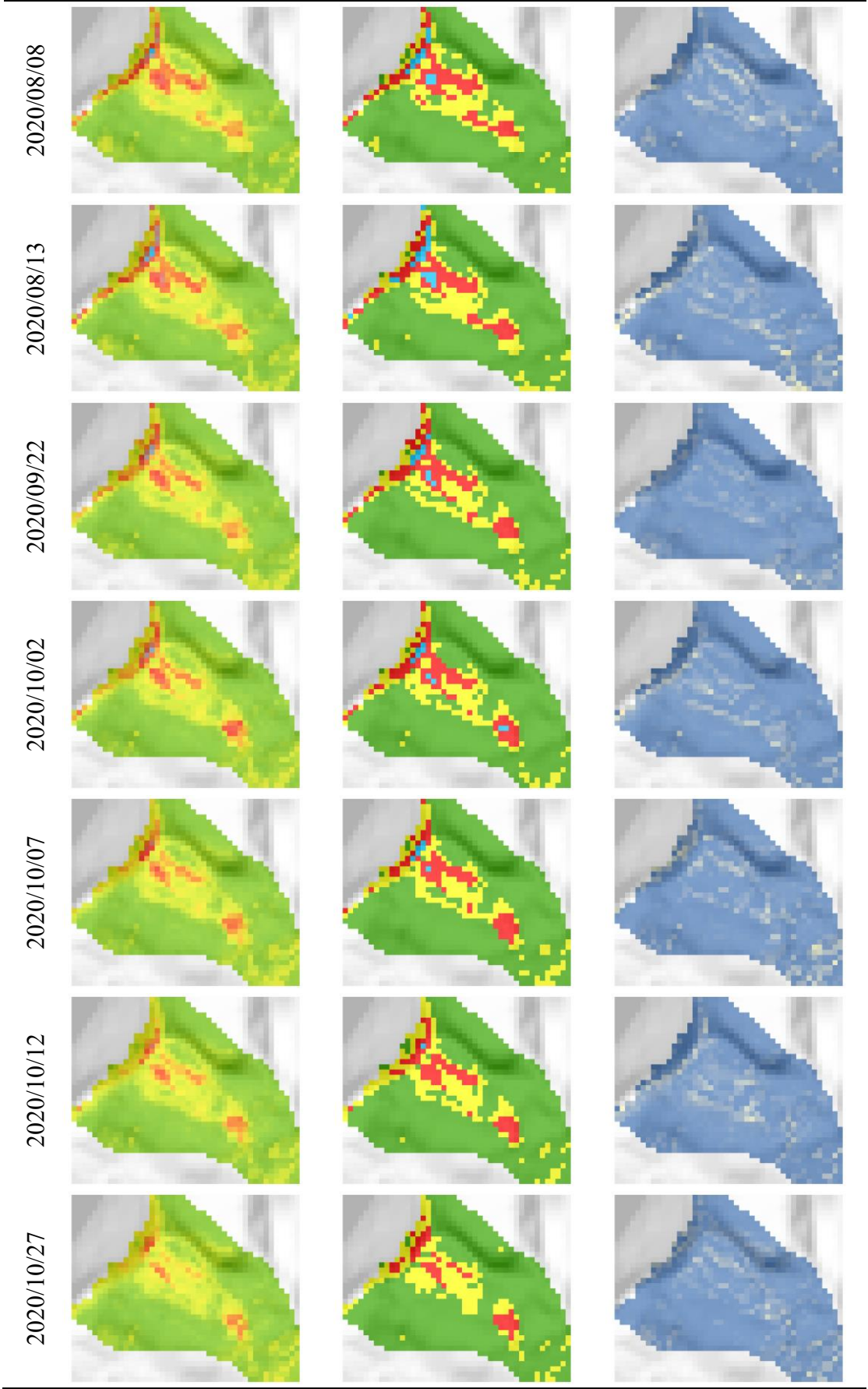


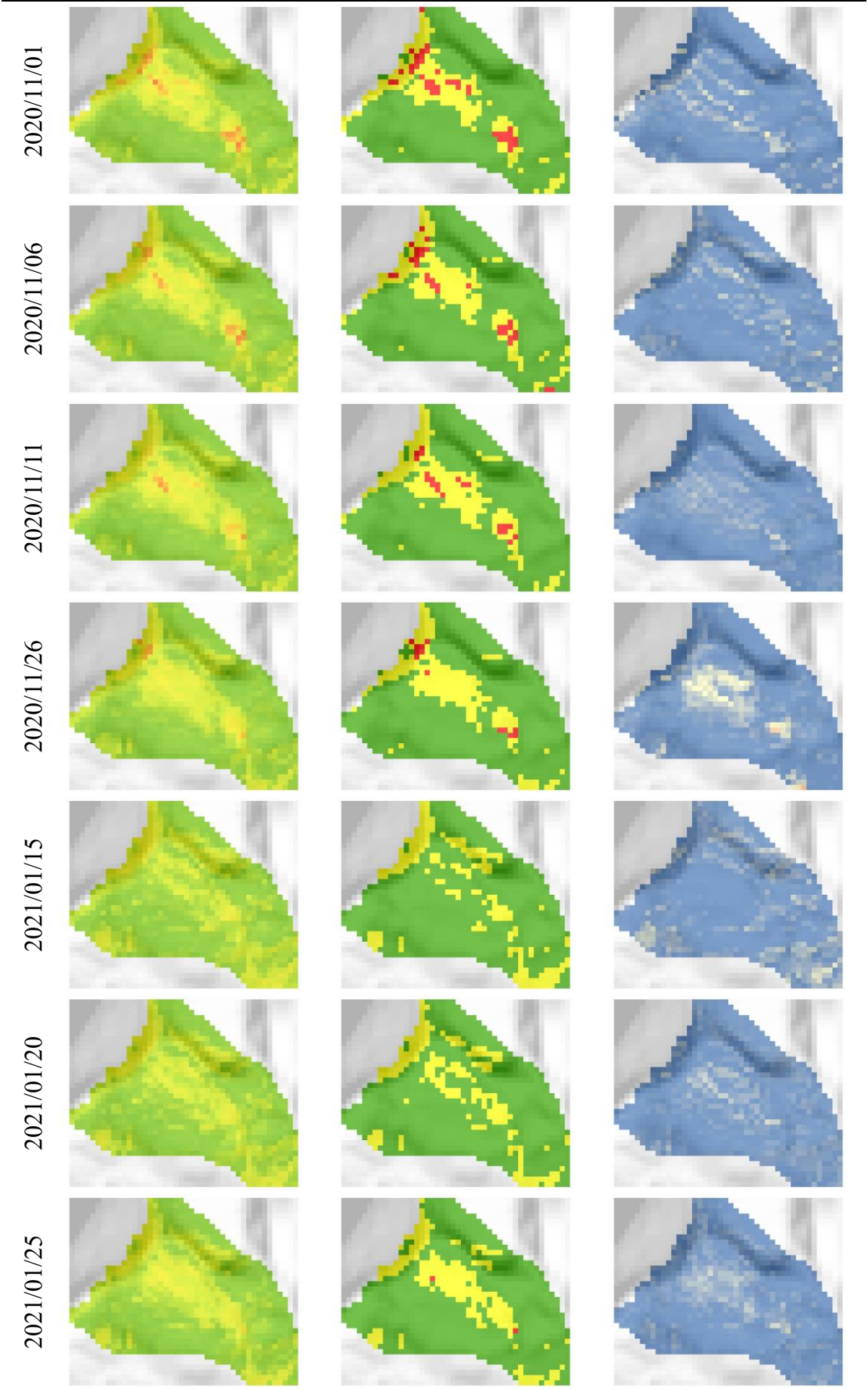


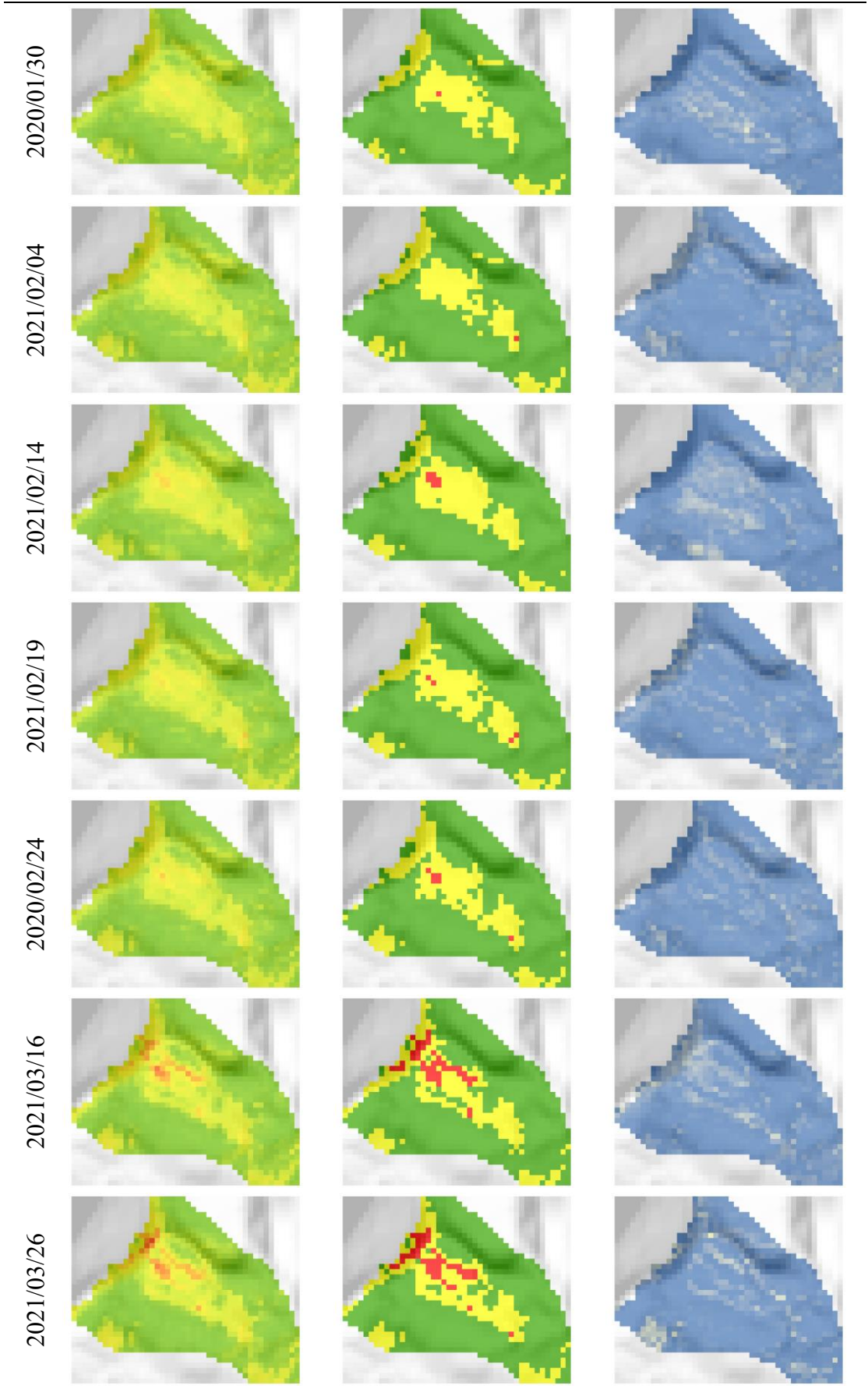


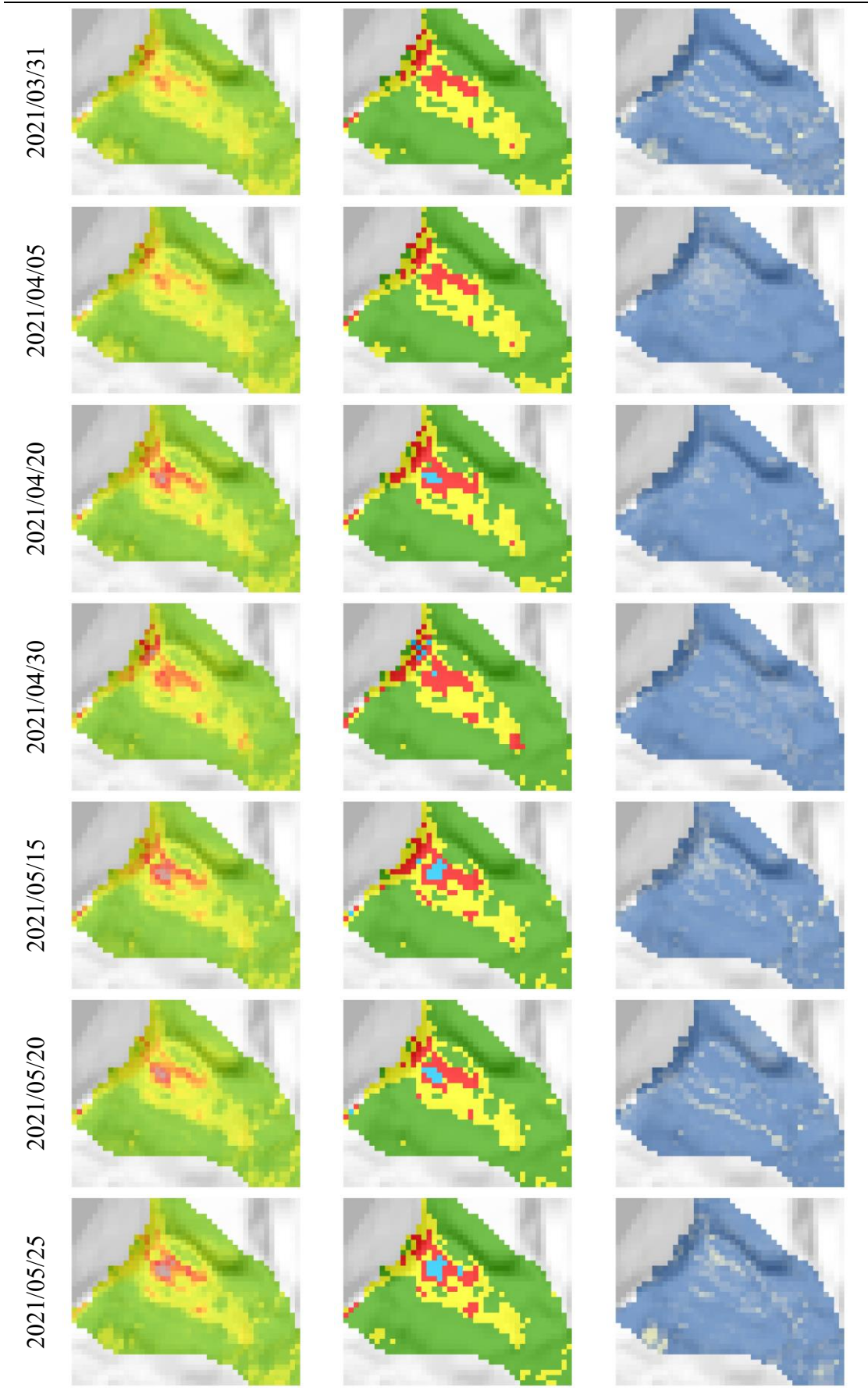


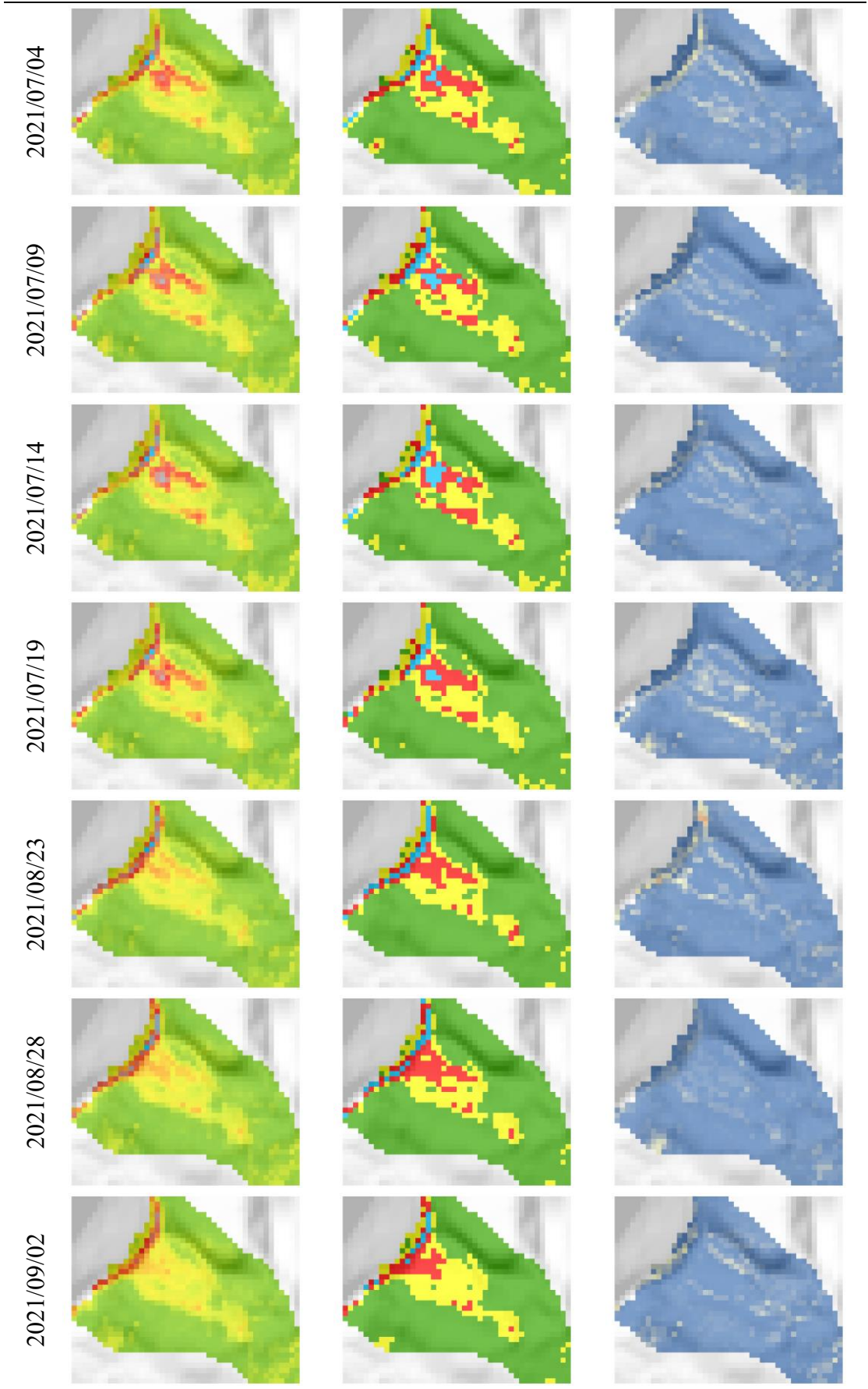


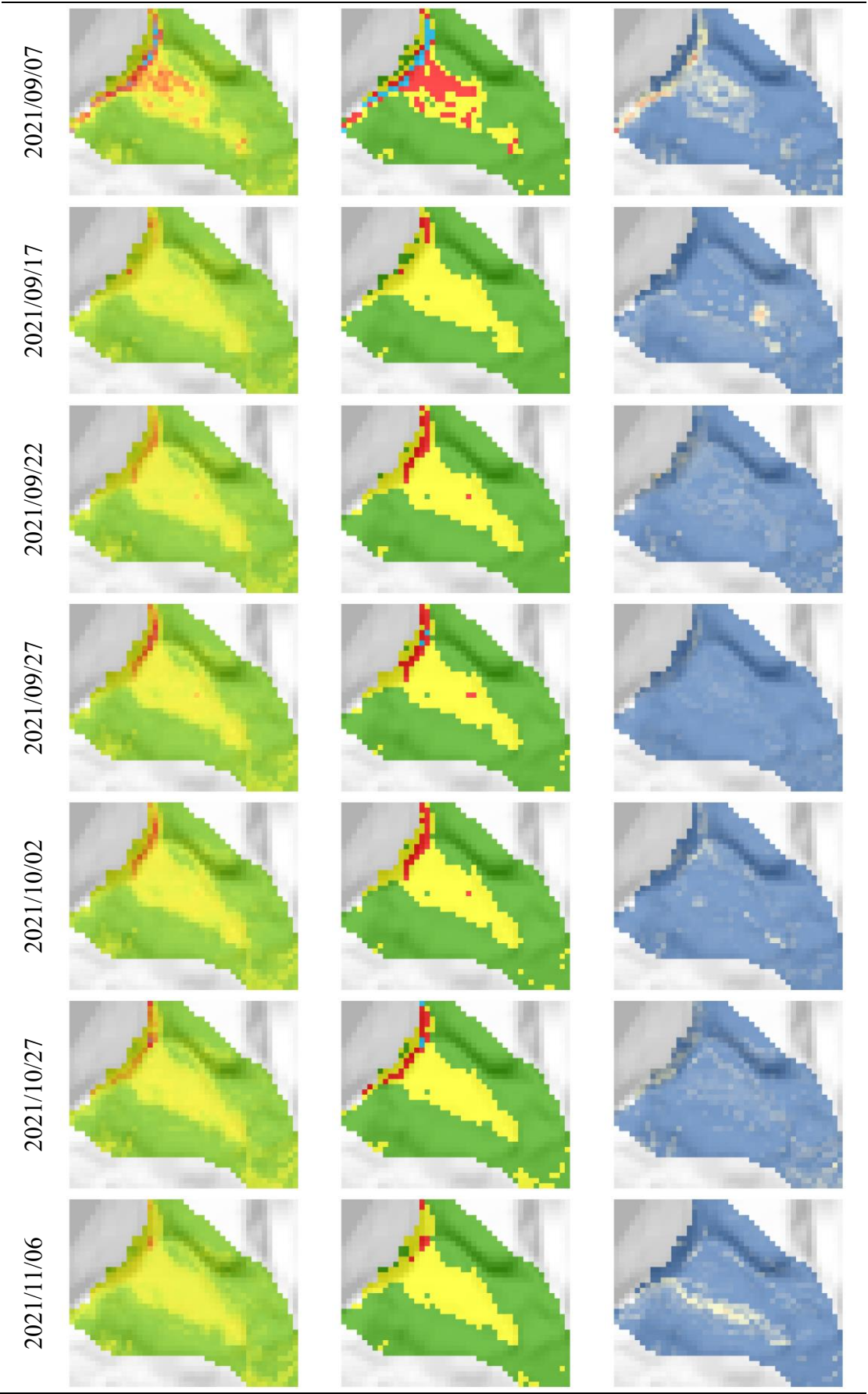


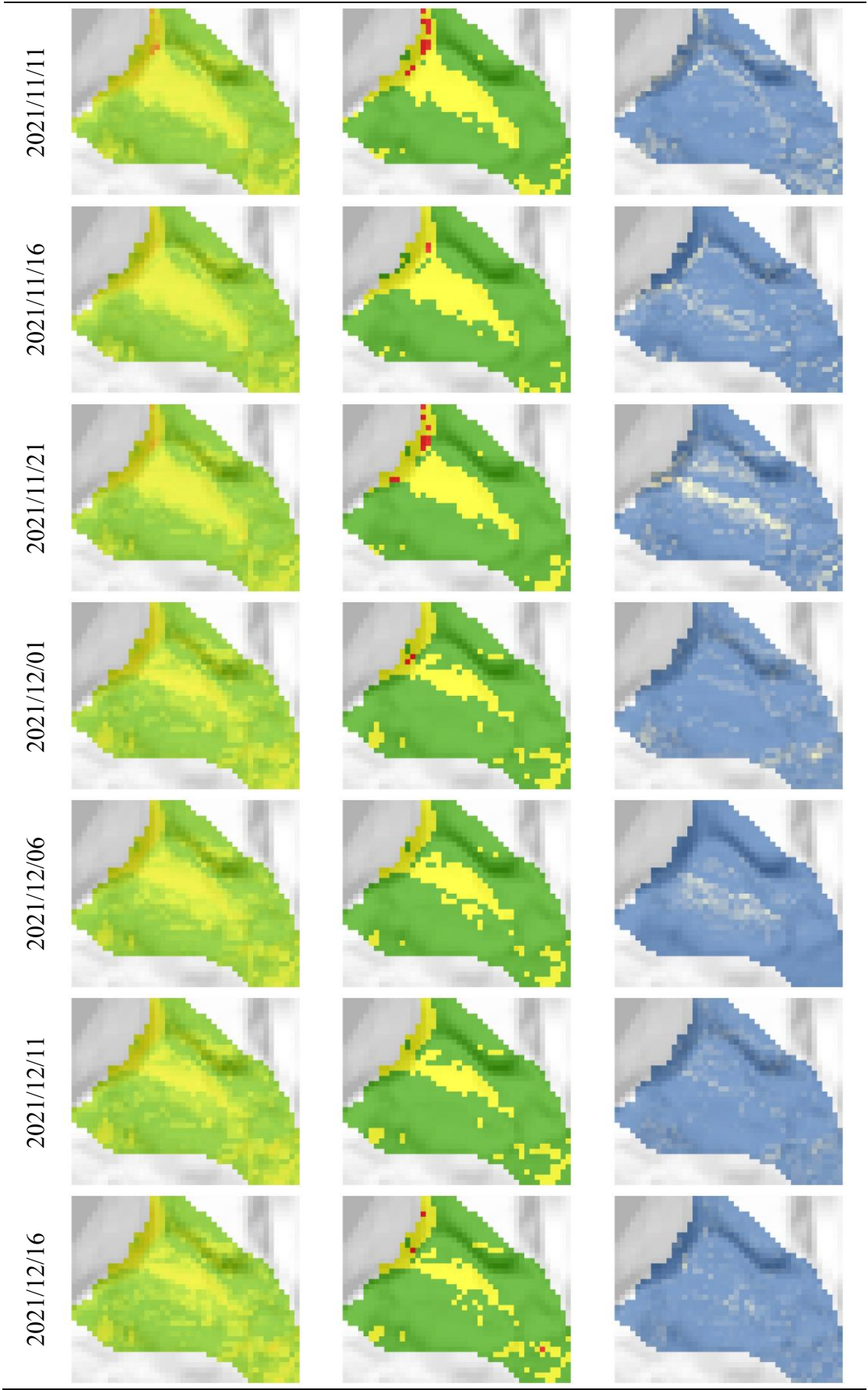


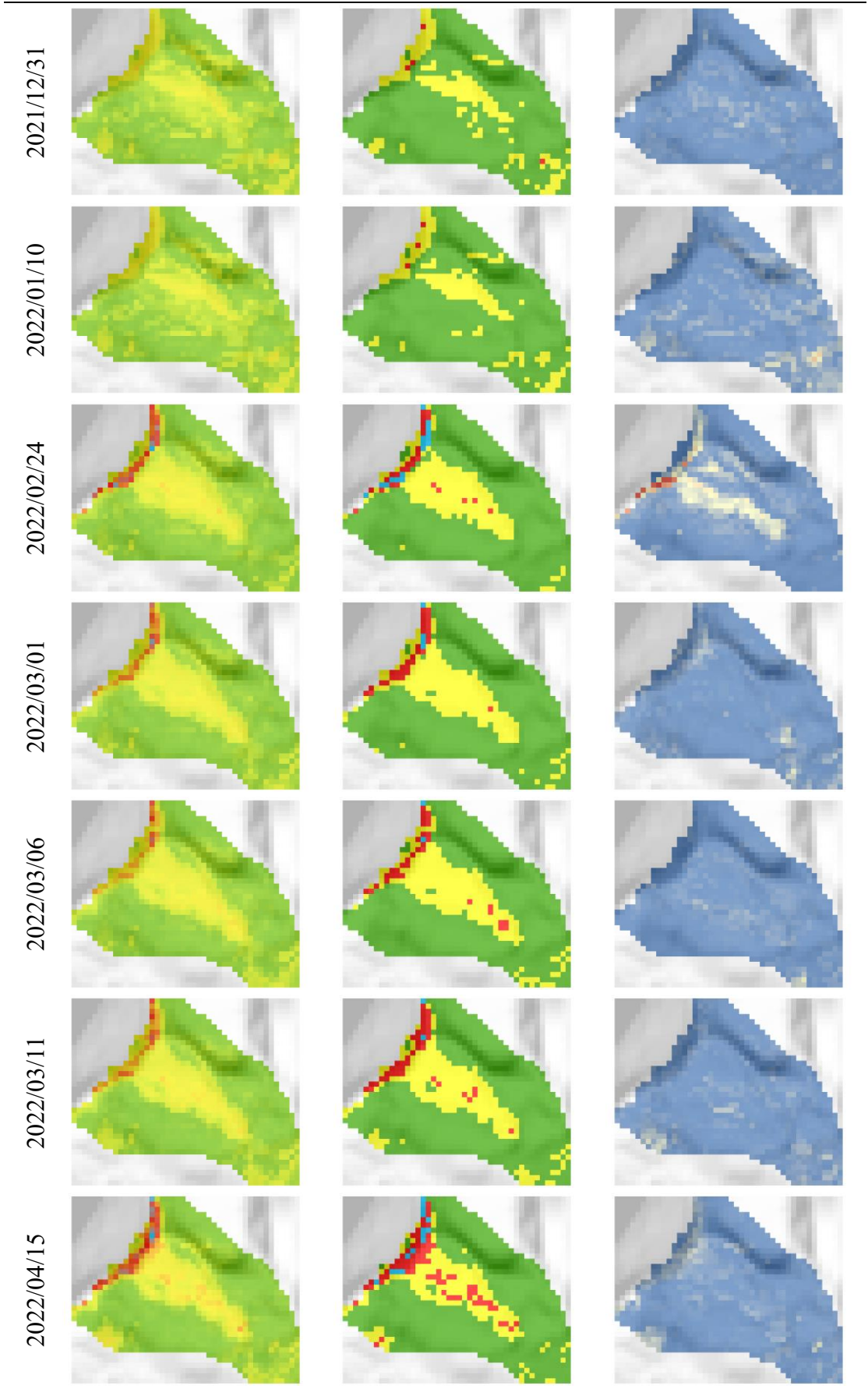


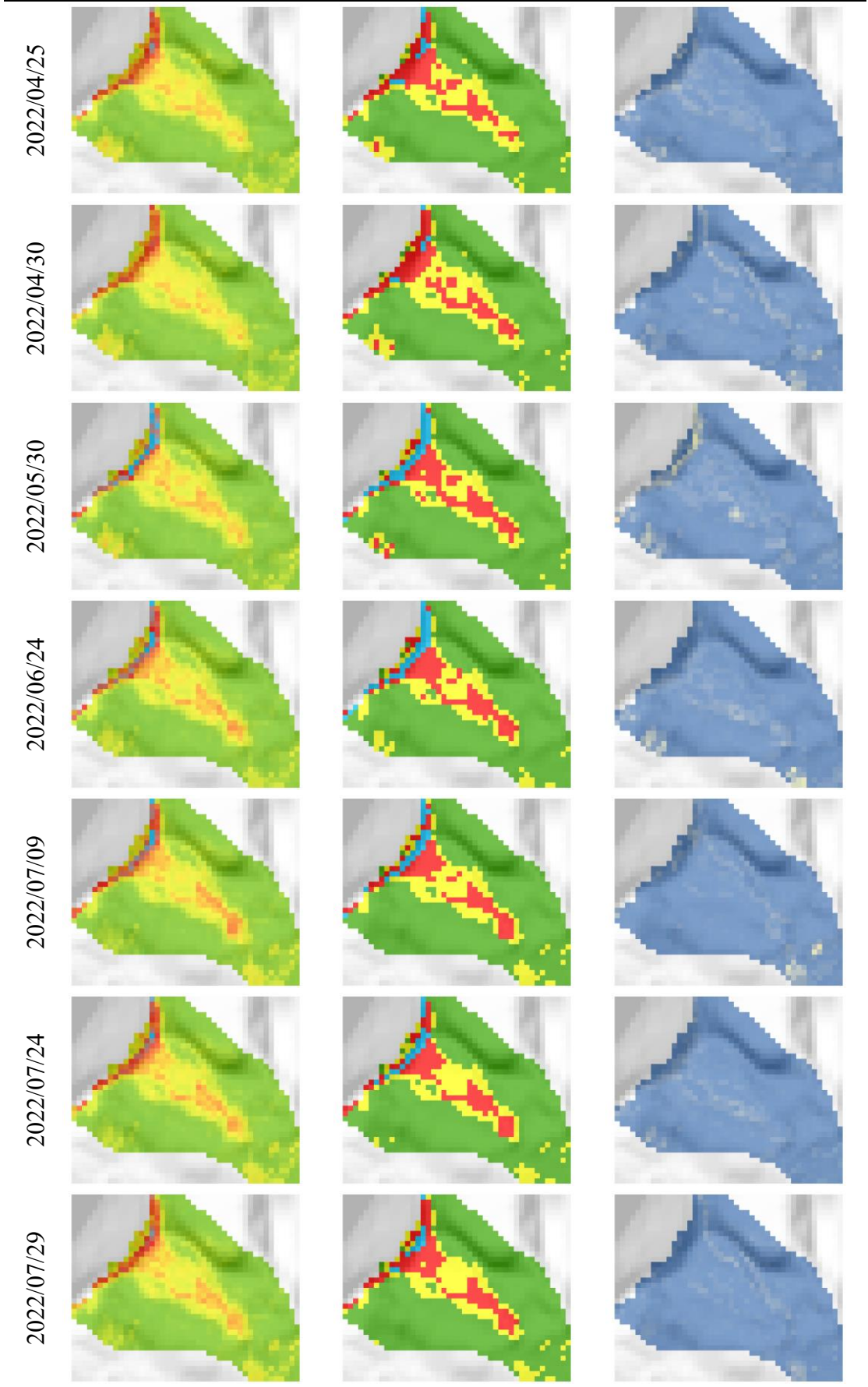


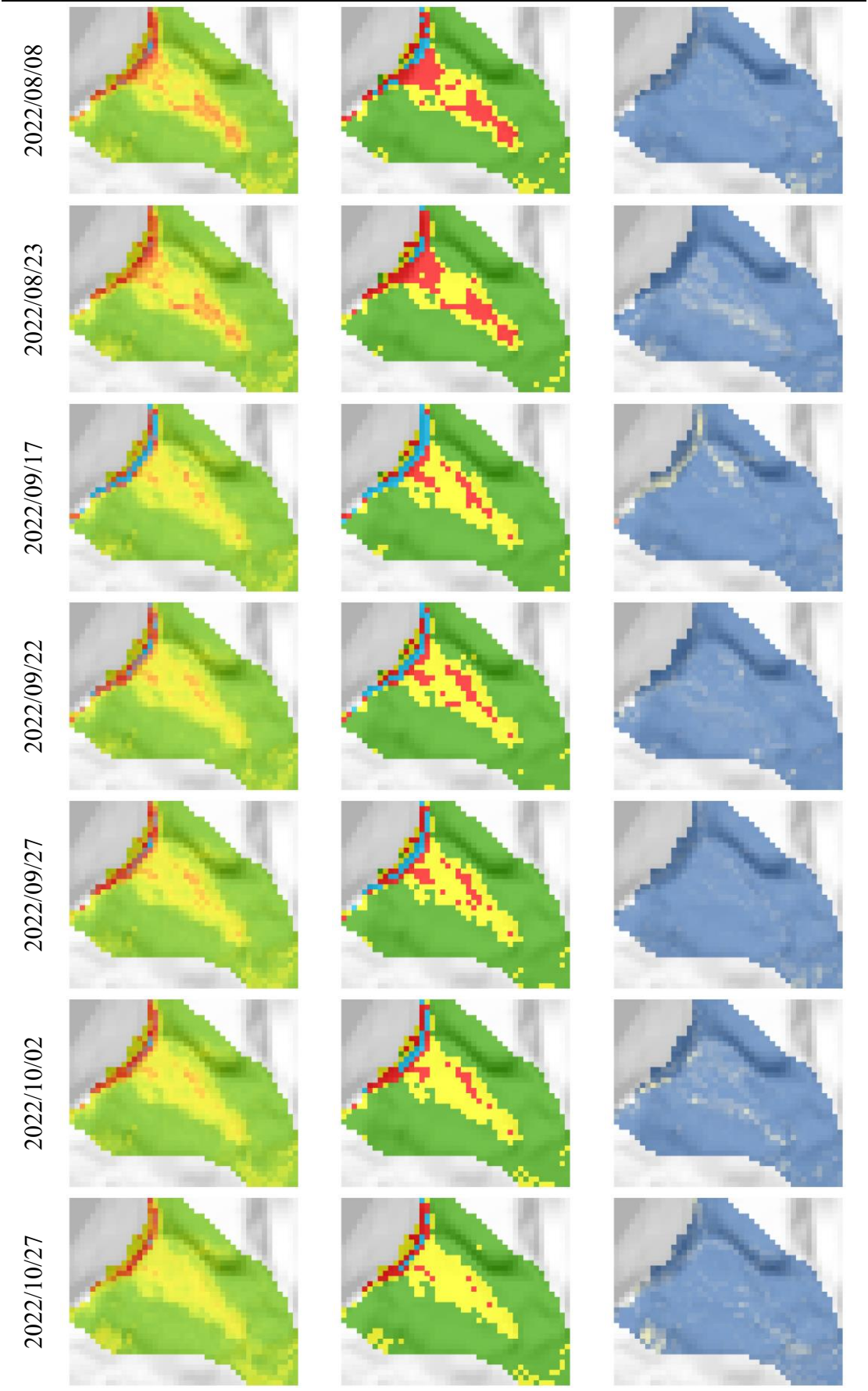


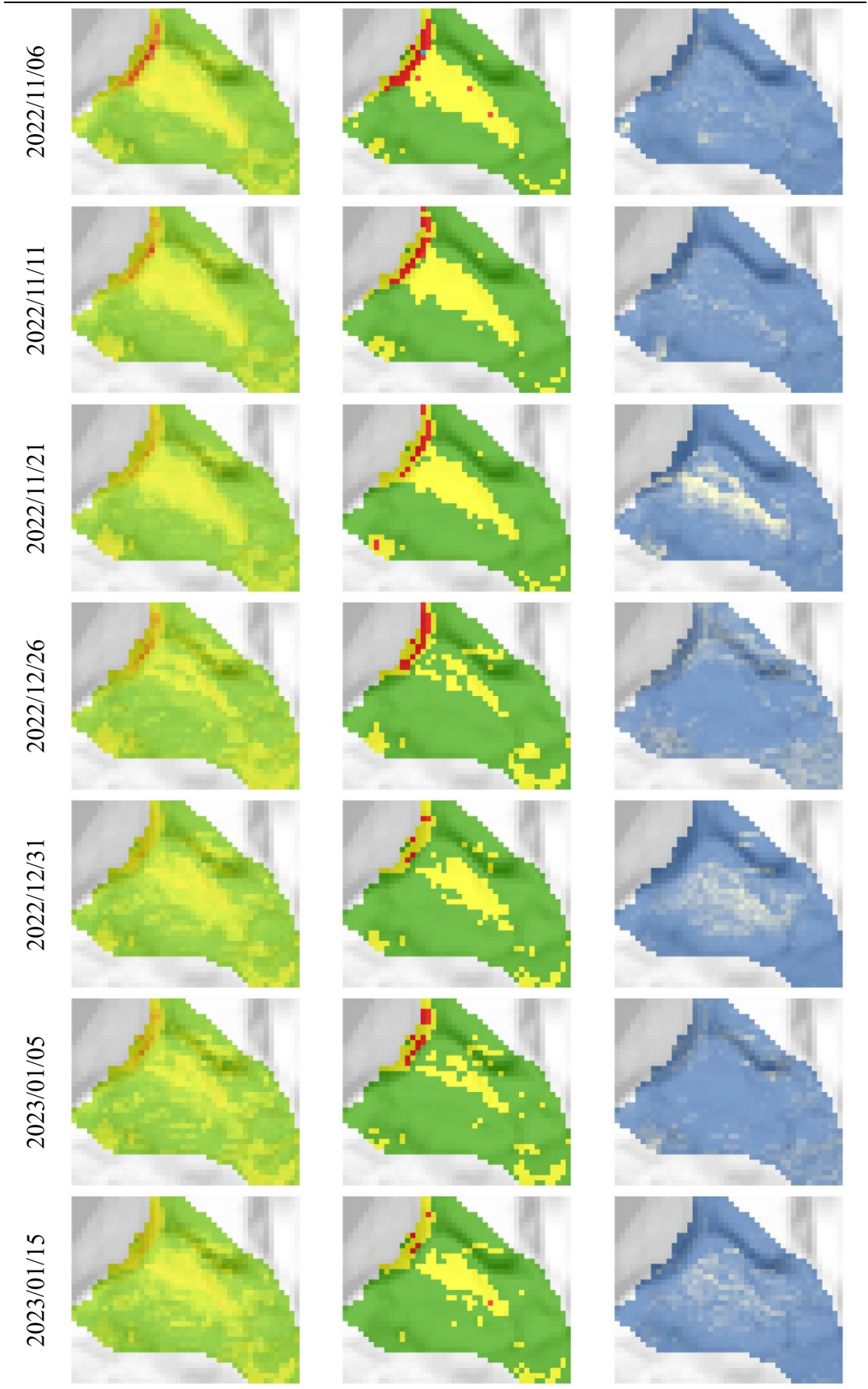


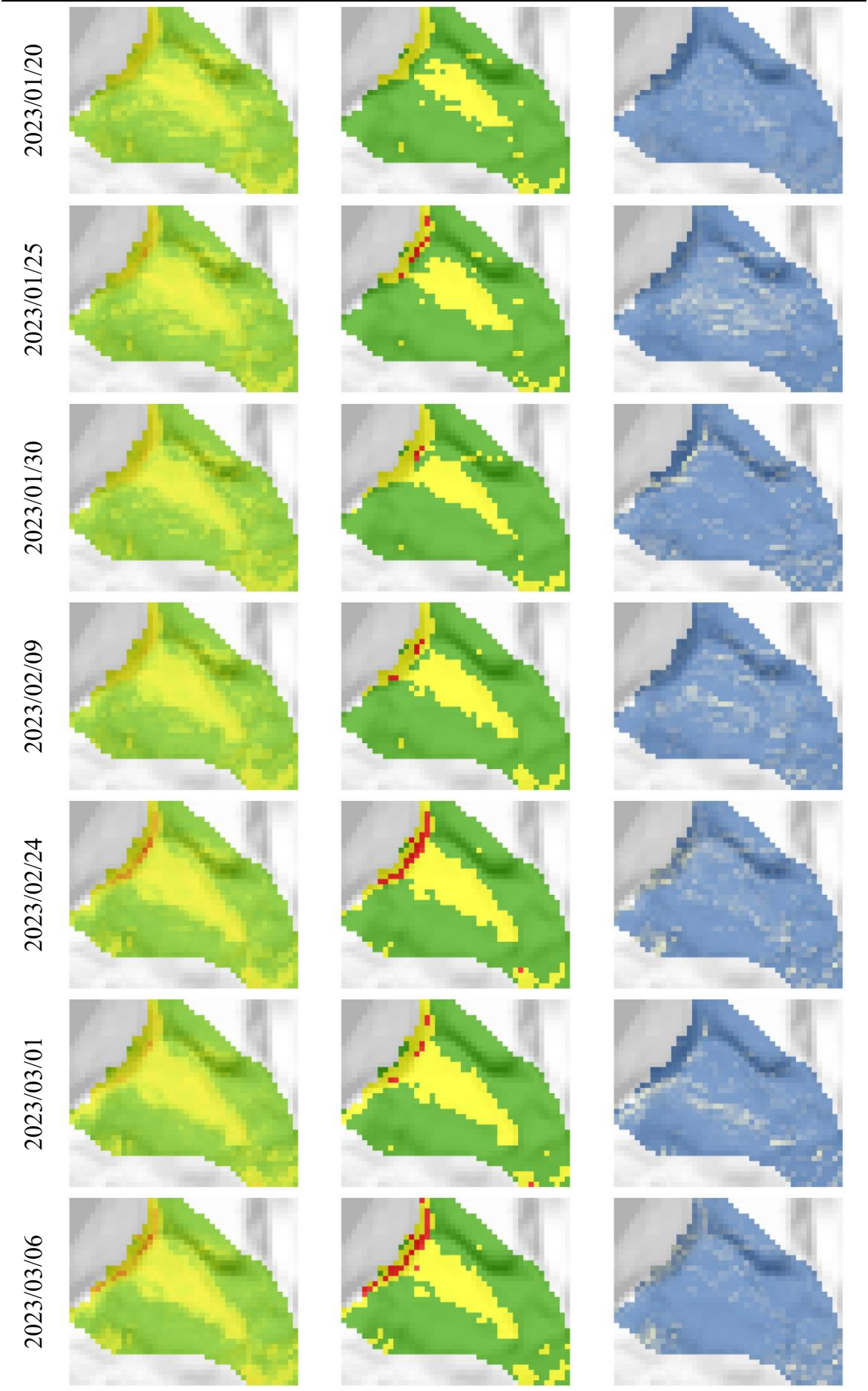


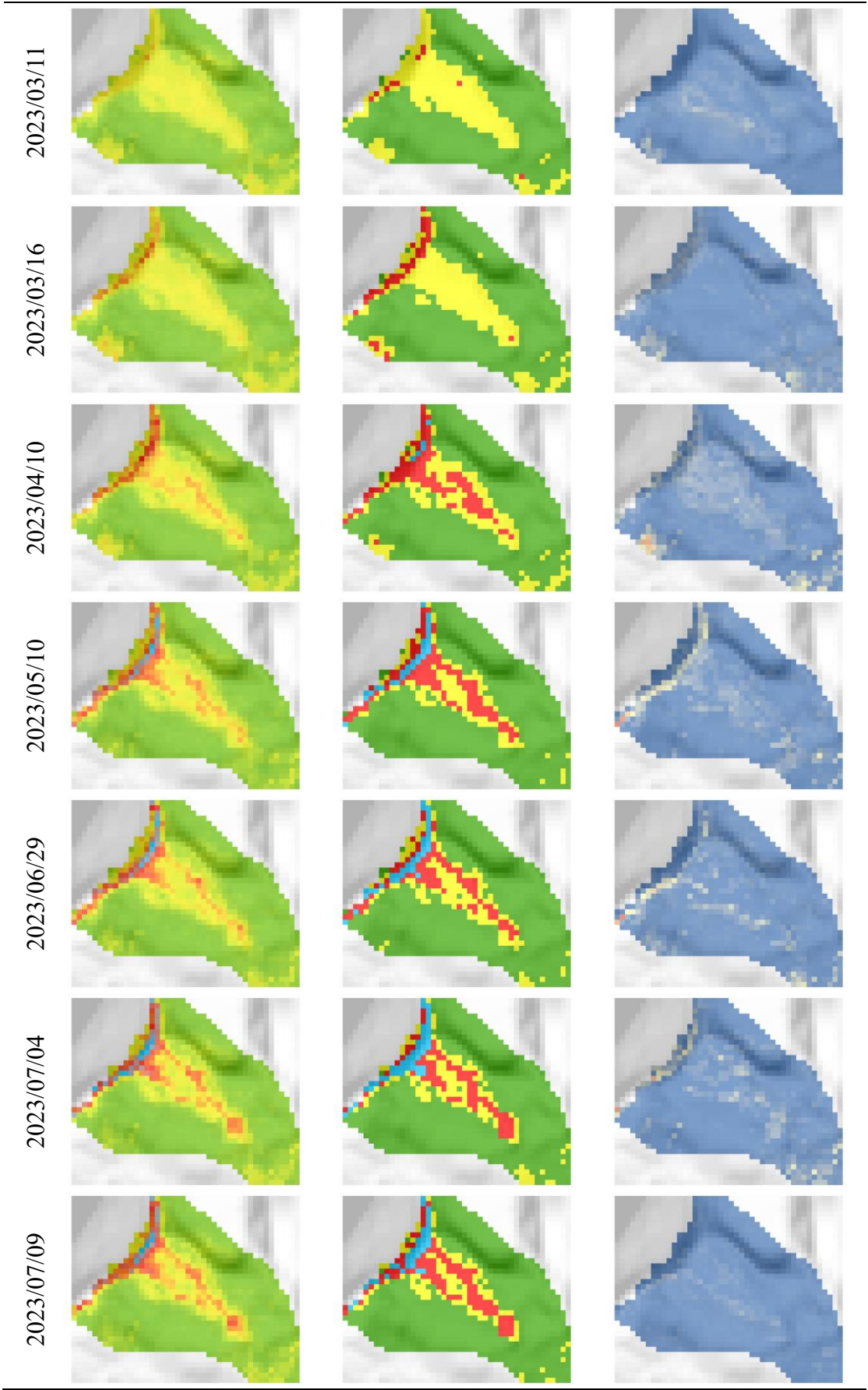


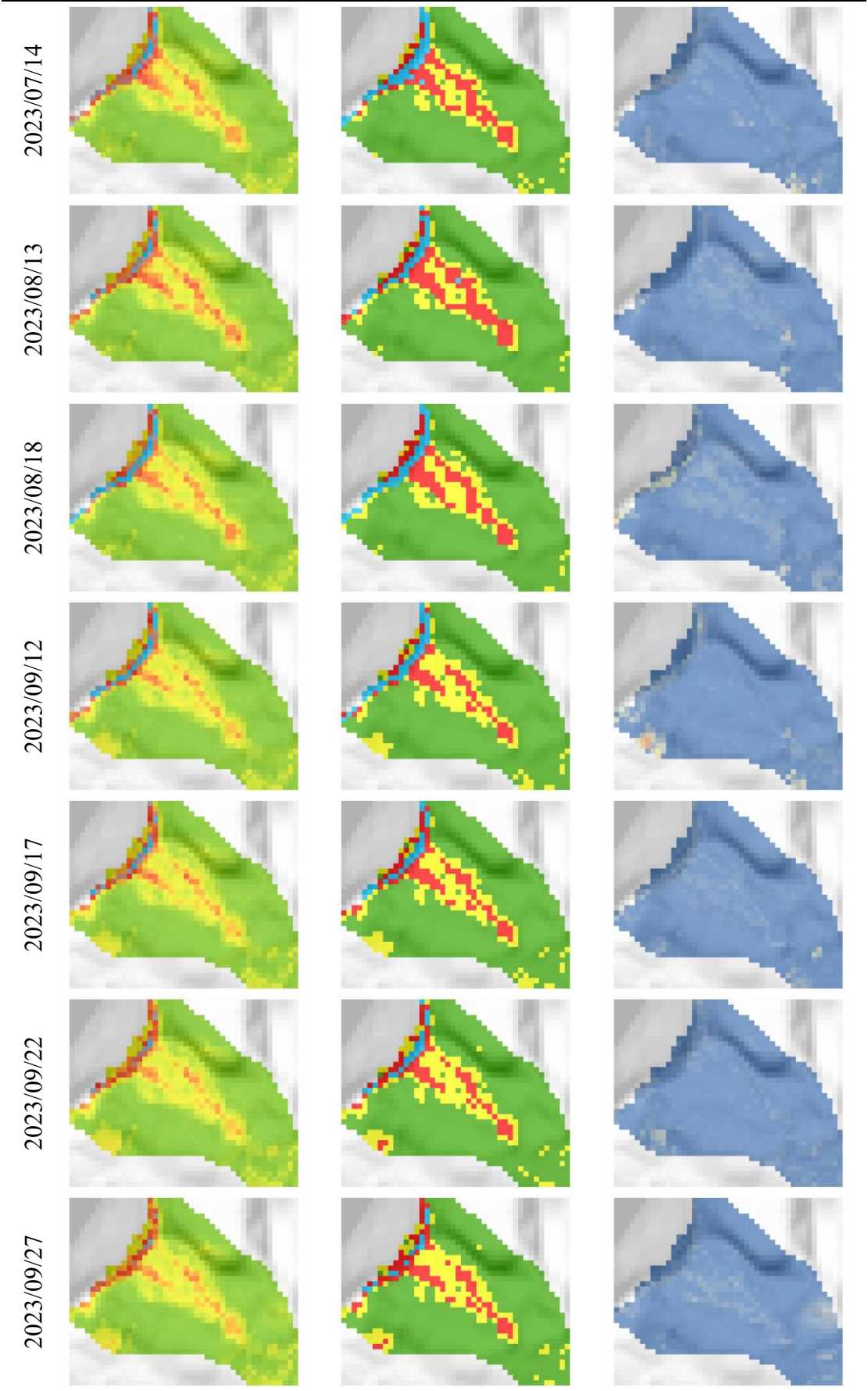


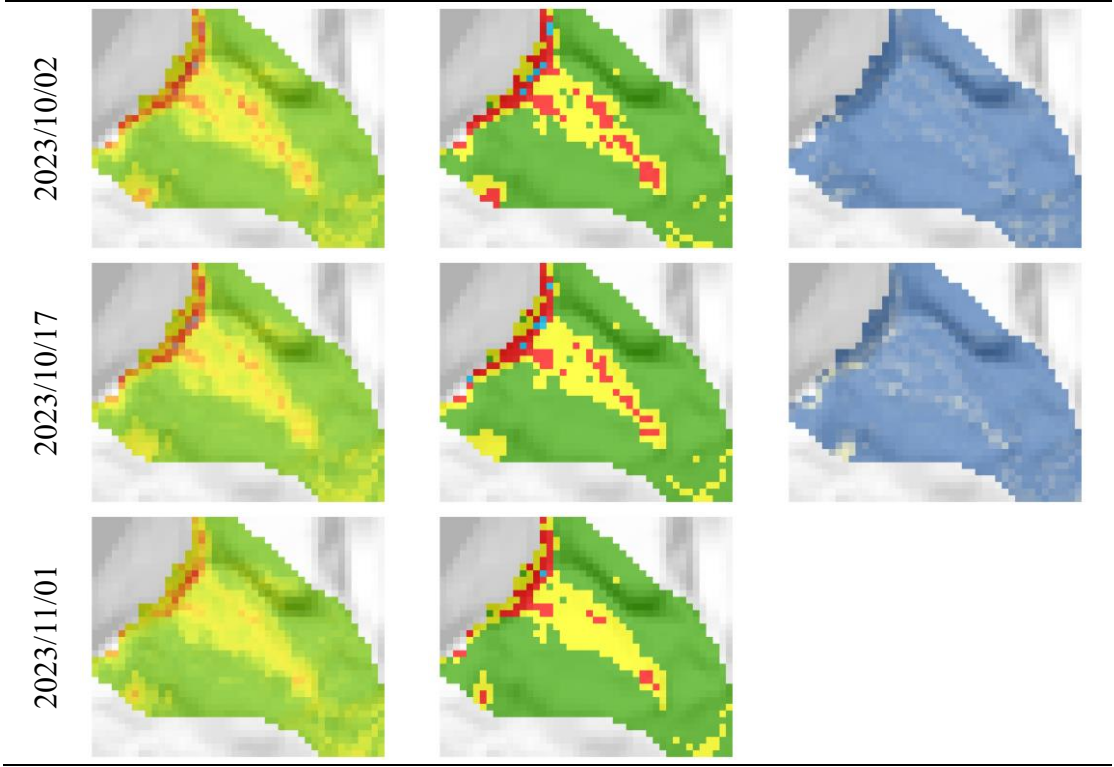




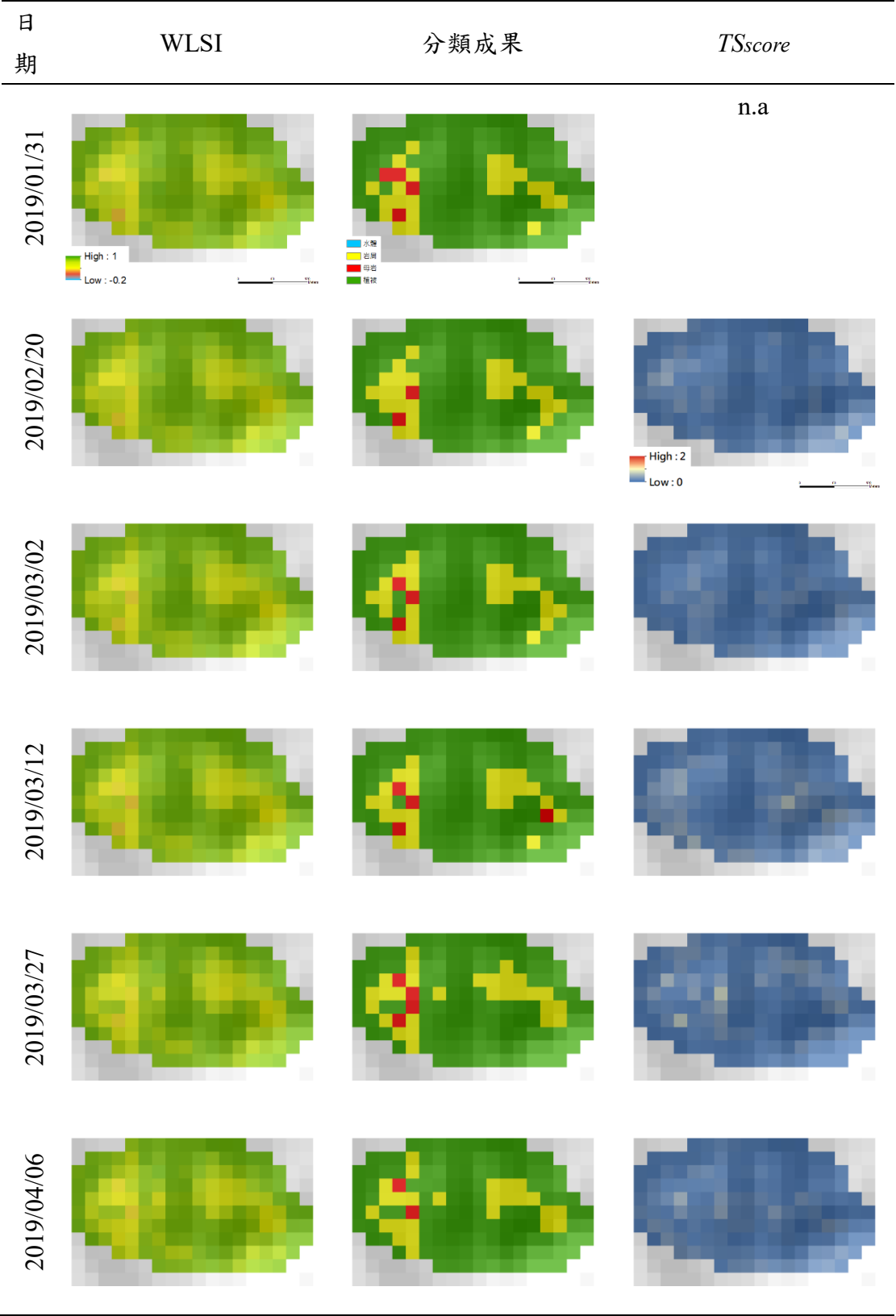


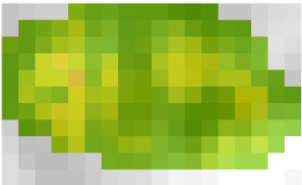
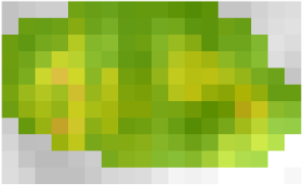
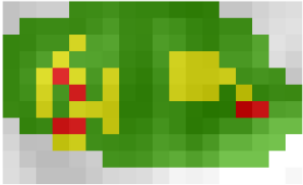
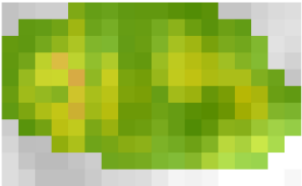
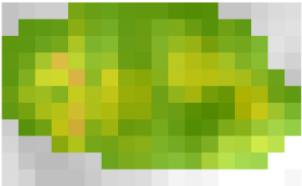
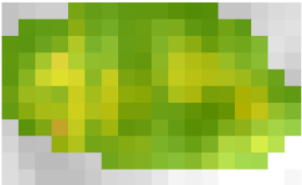
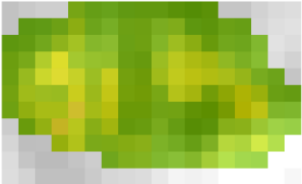
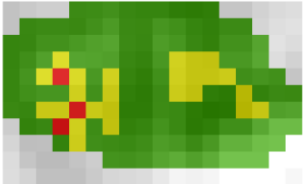
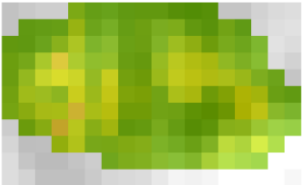


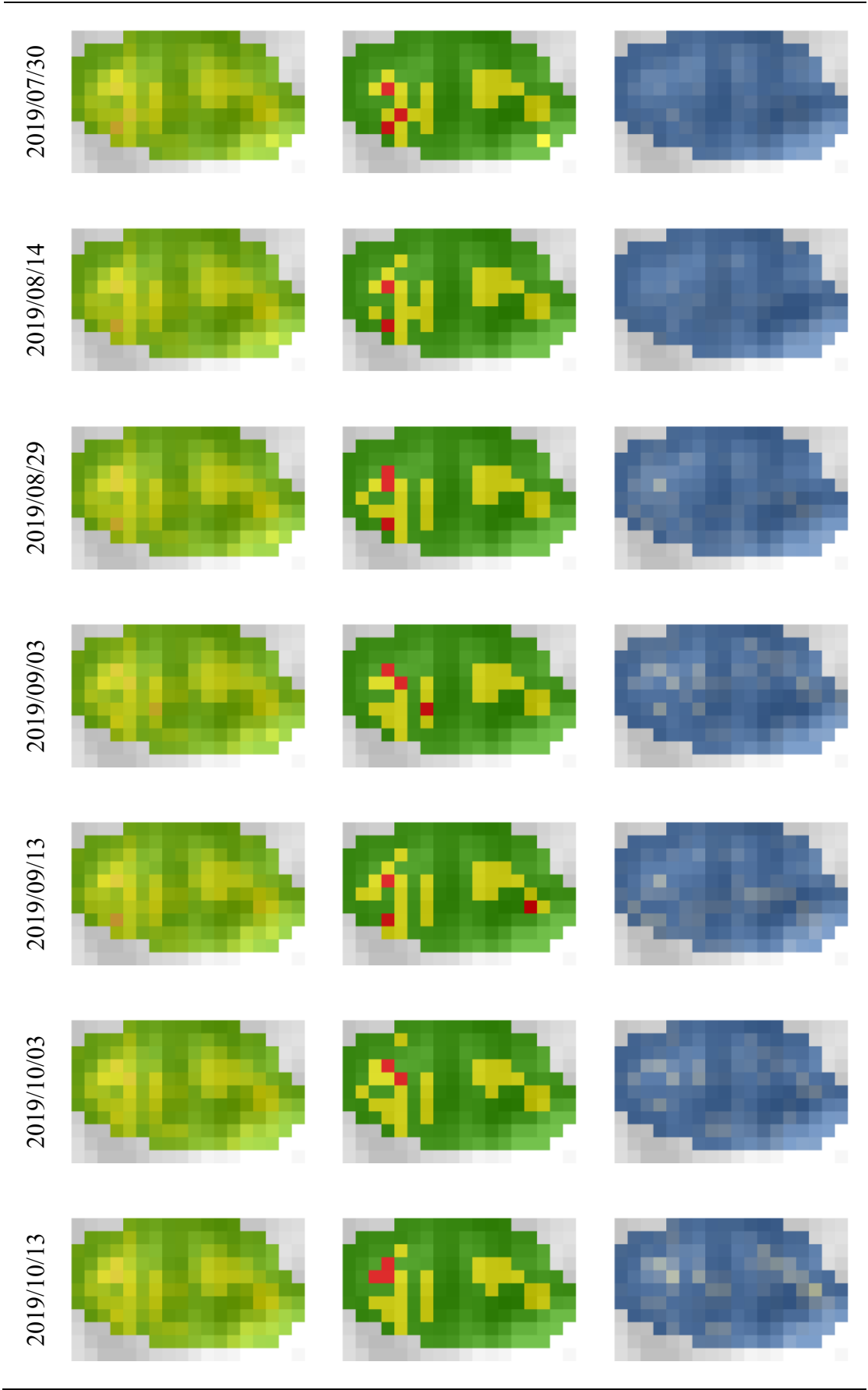


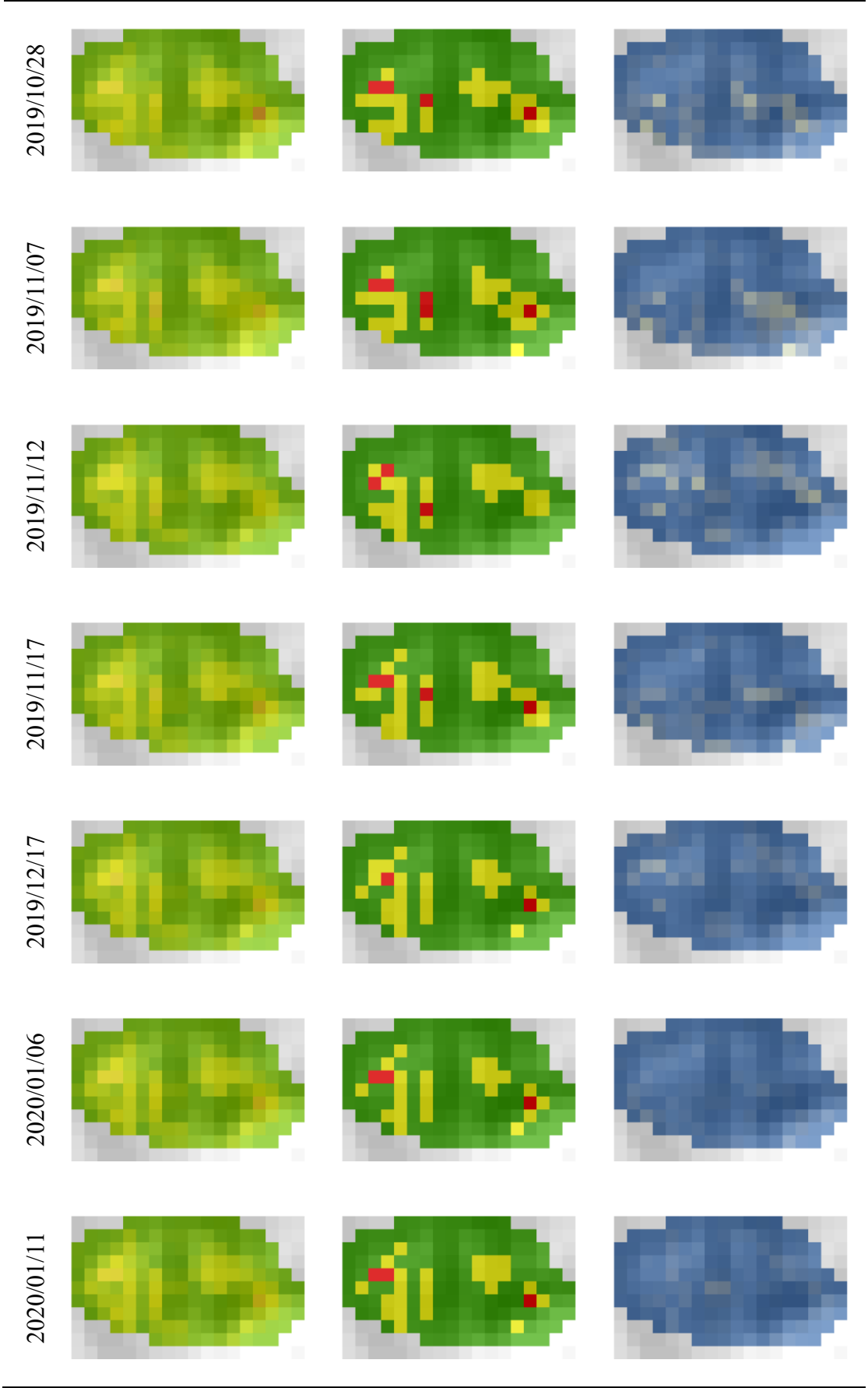


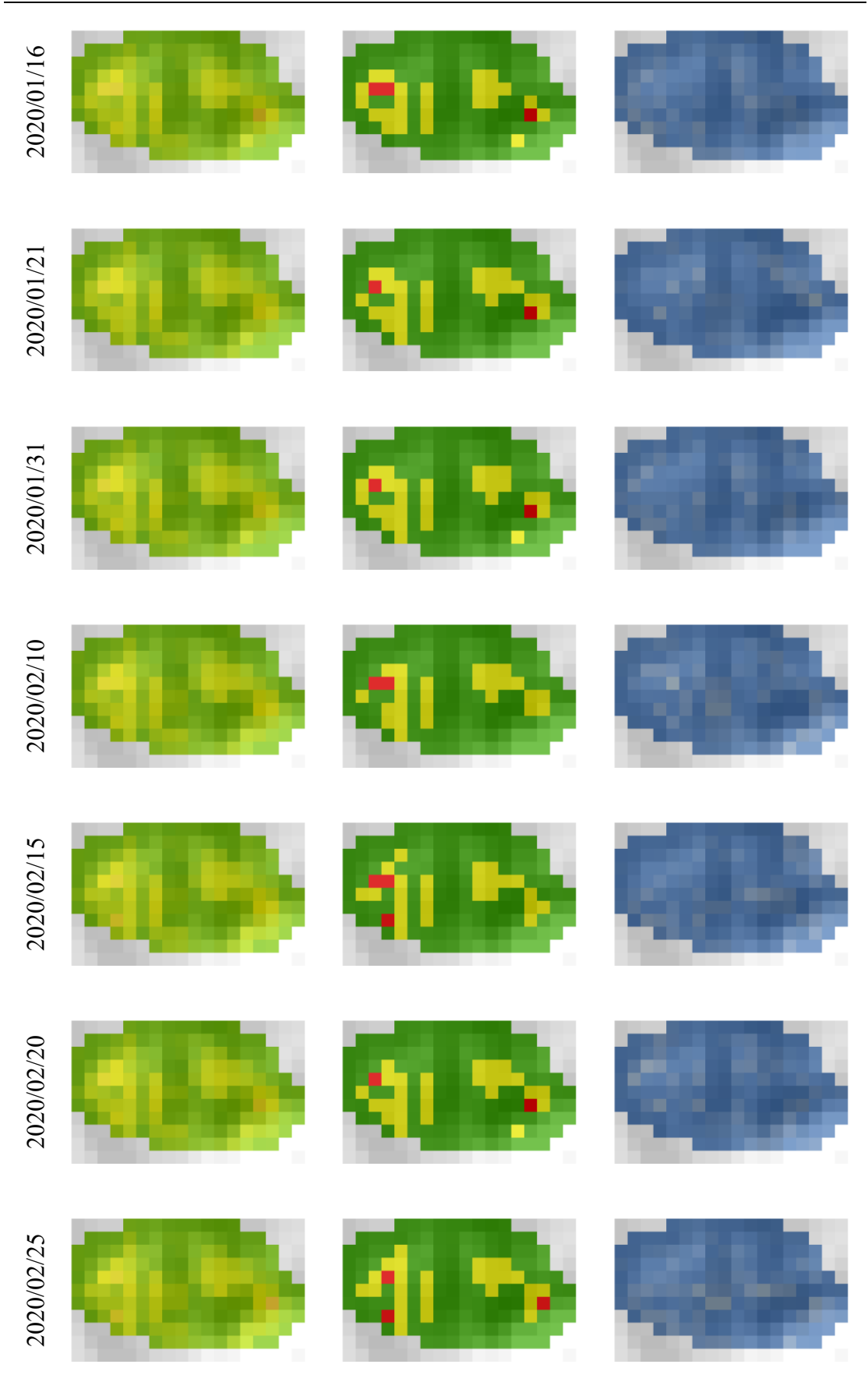
三、光華

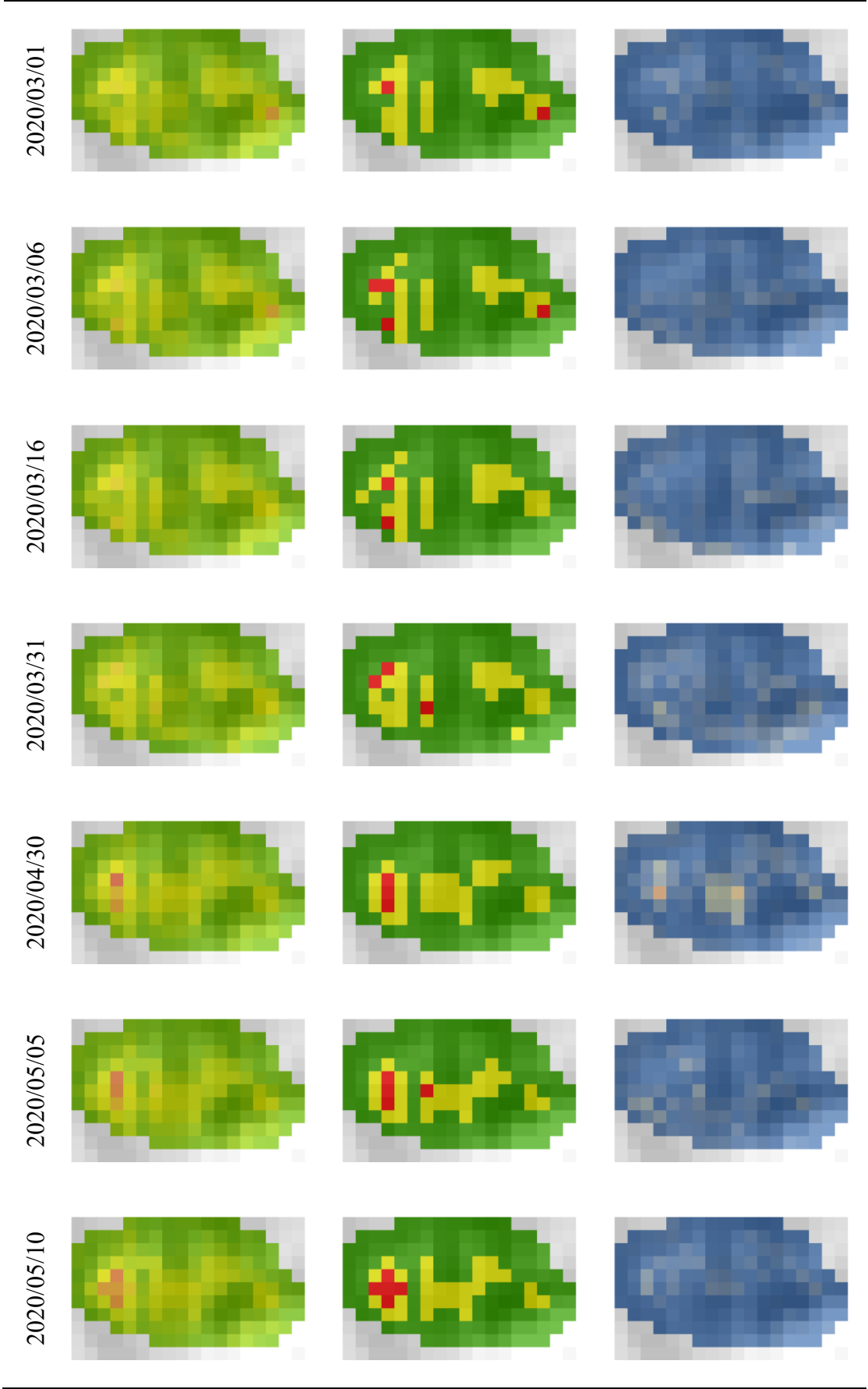


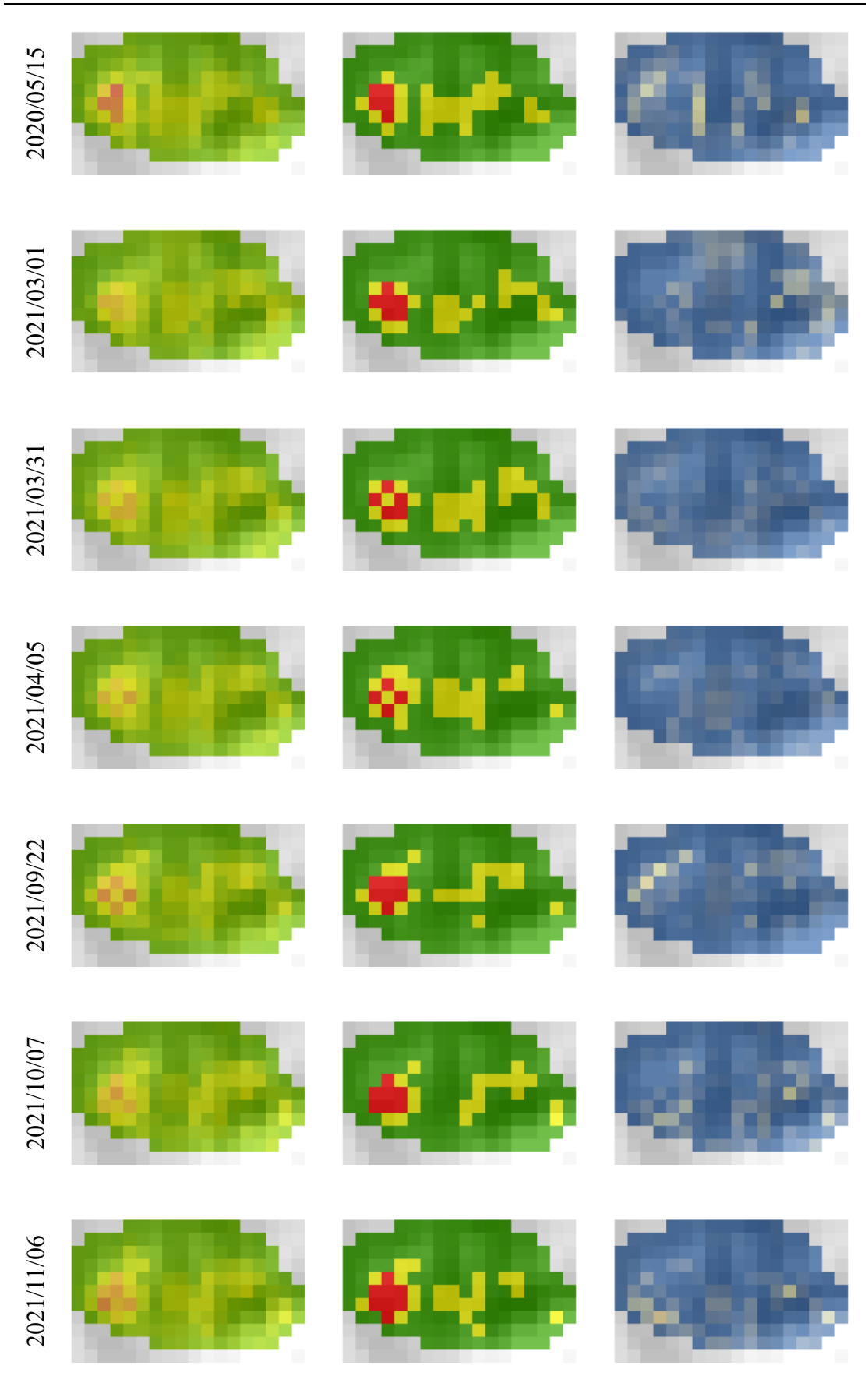
2019/04/26			
2019/05/31			
2019/06/05			
2019/06/25			
2019/07/05			
2019/07/10			
2019/07/15			

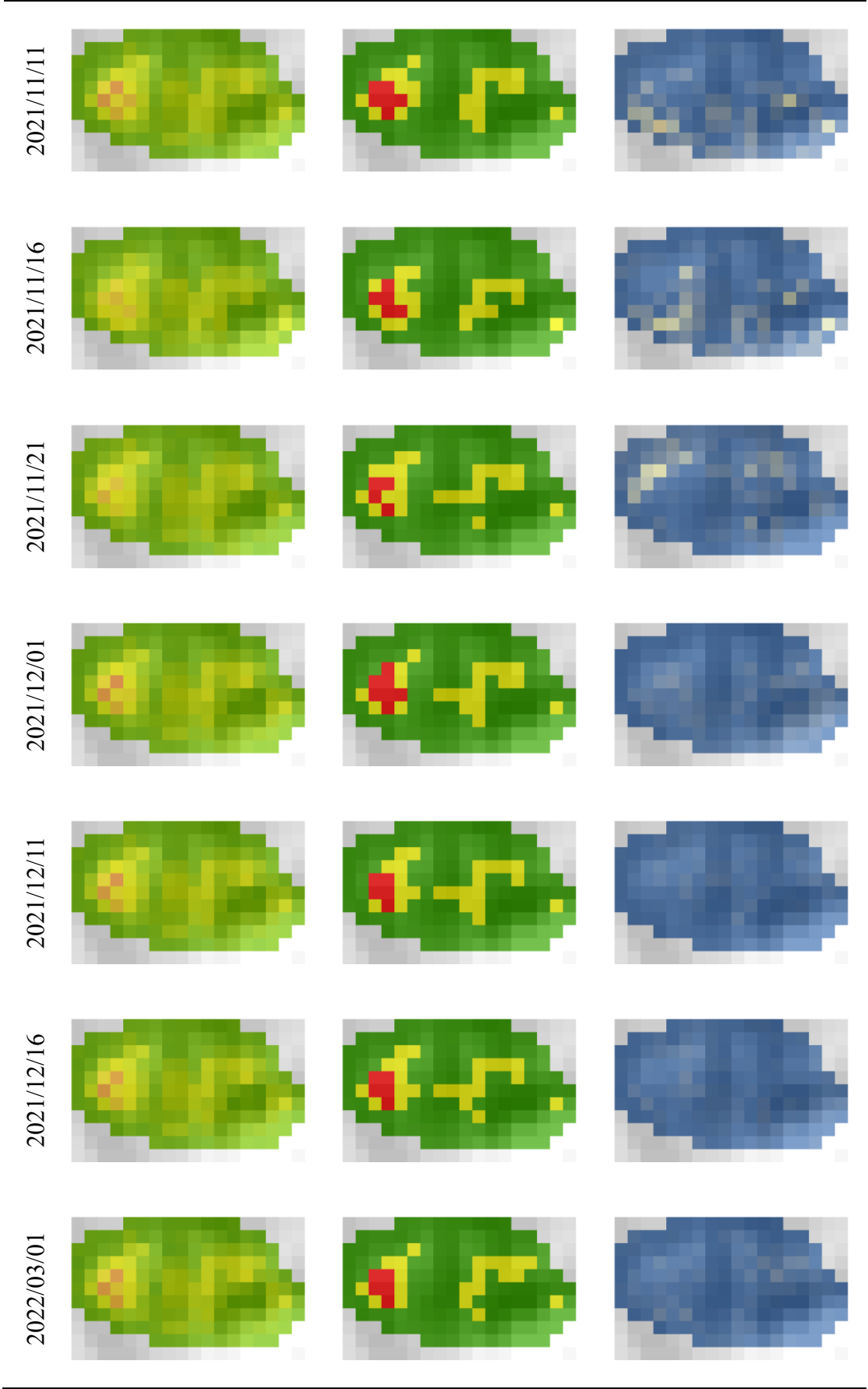


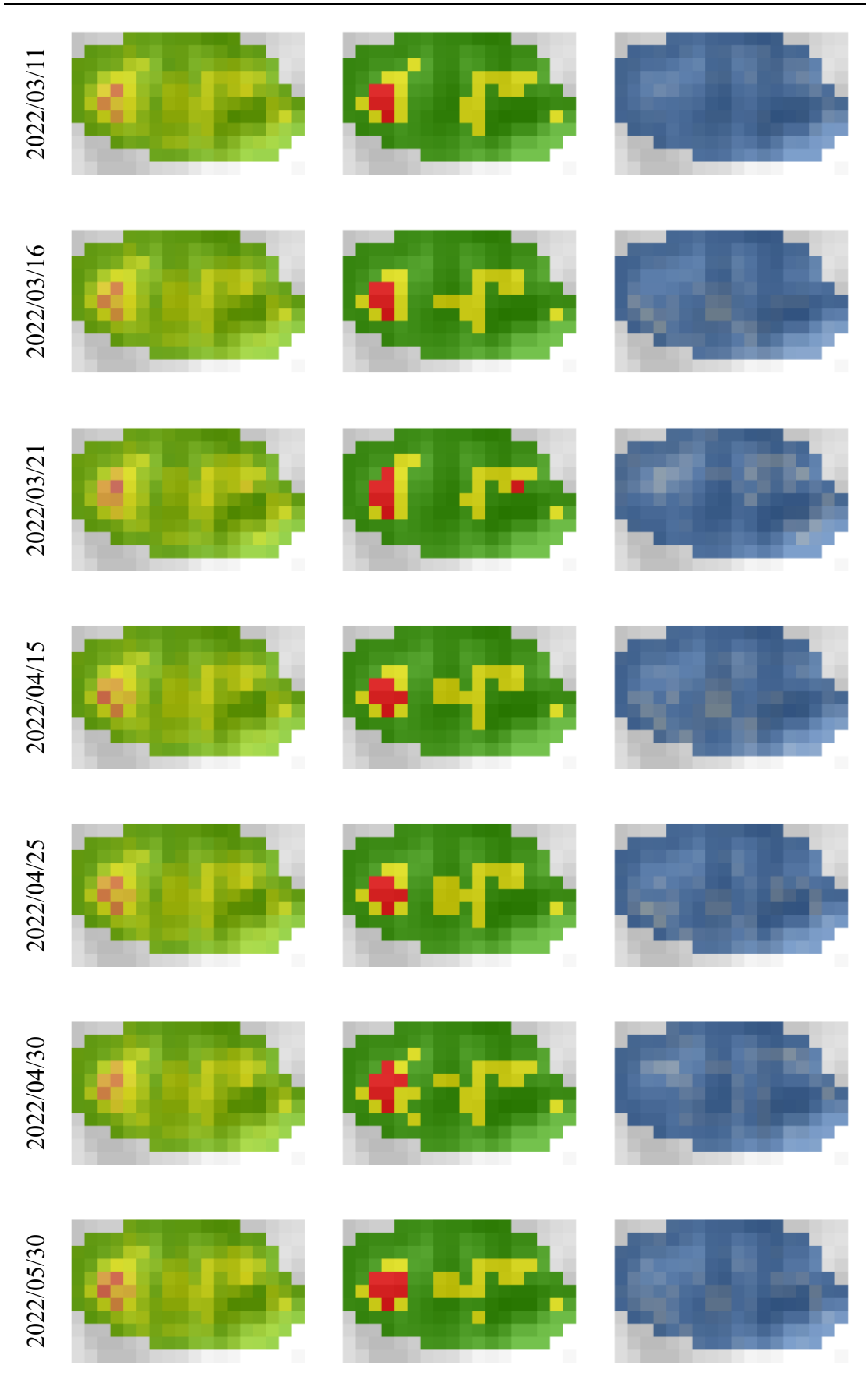


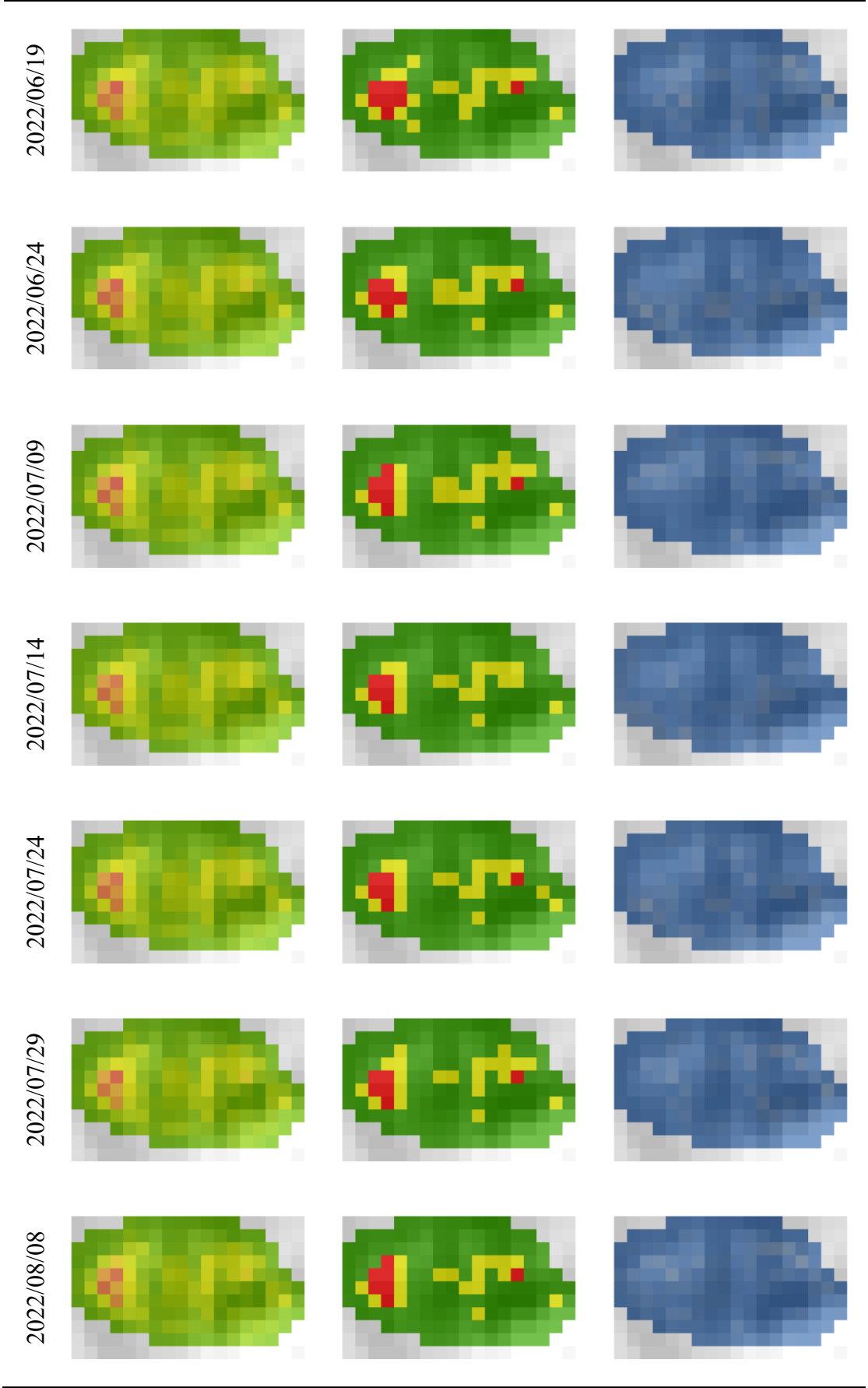


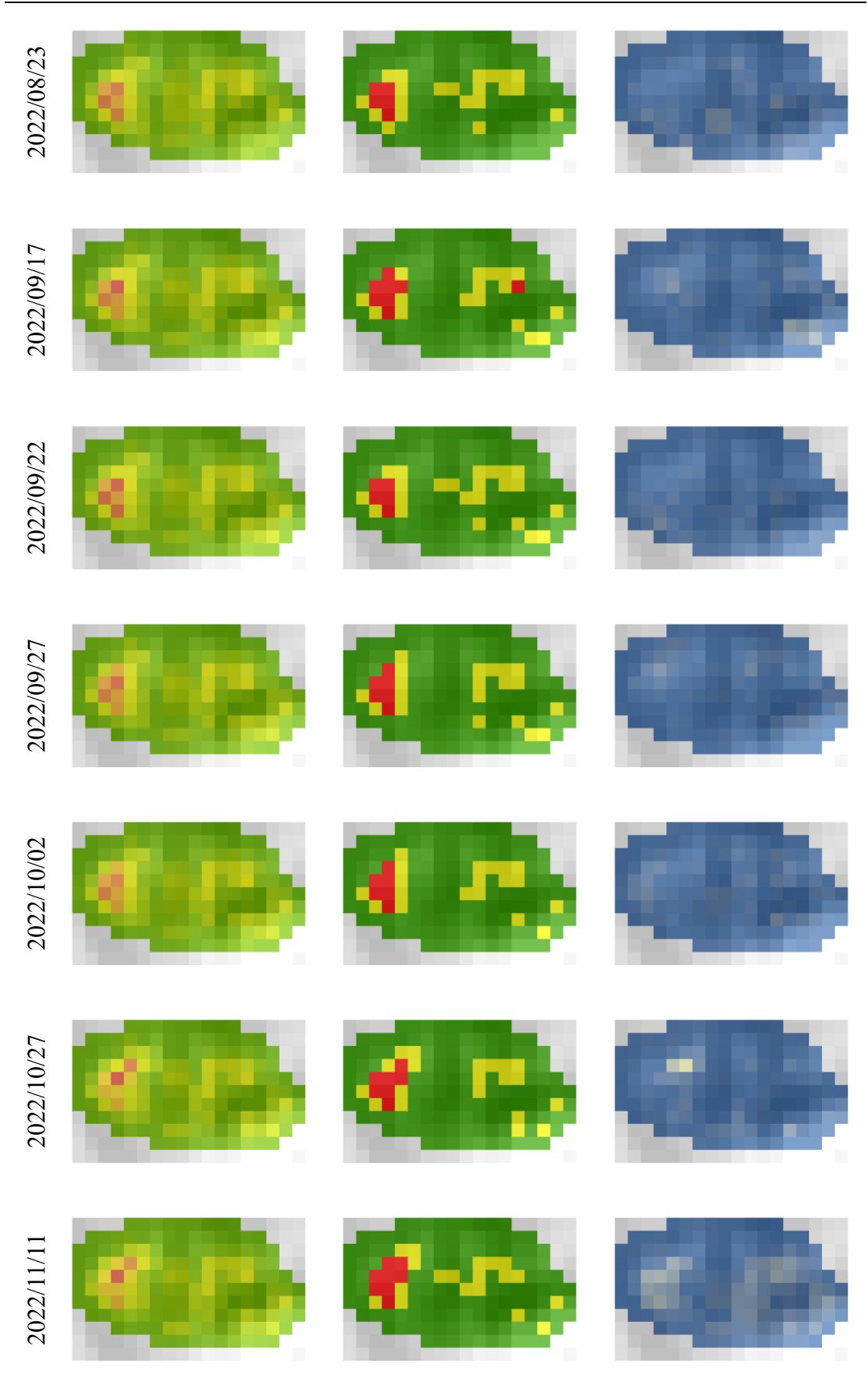


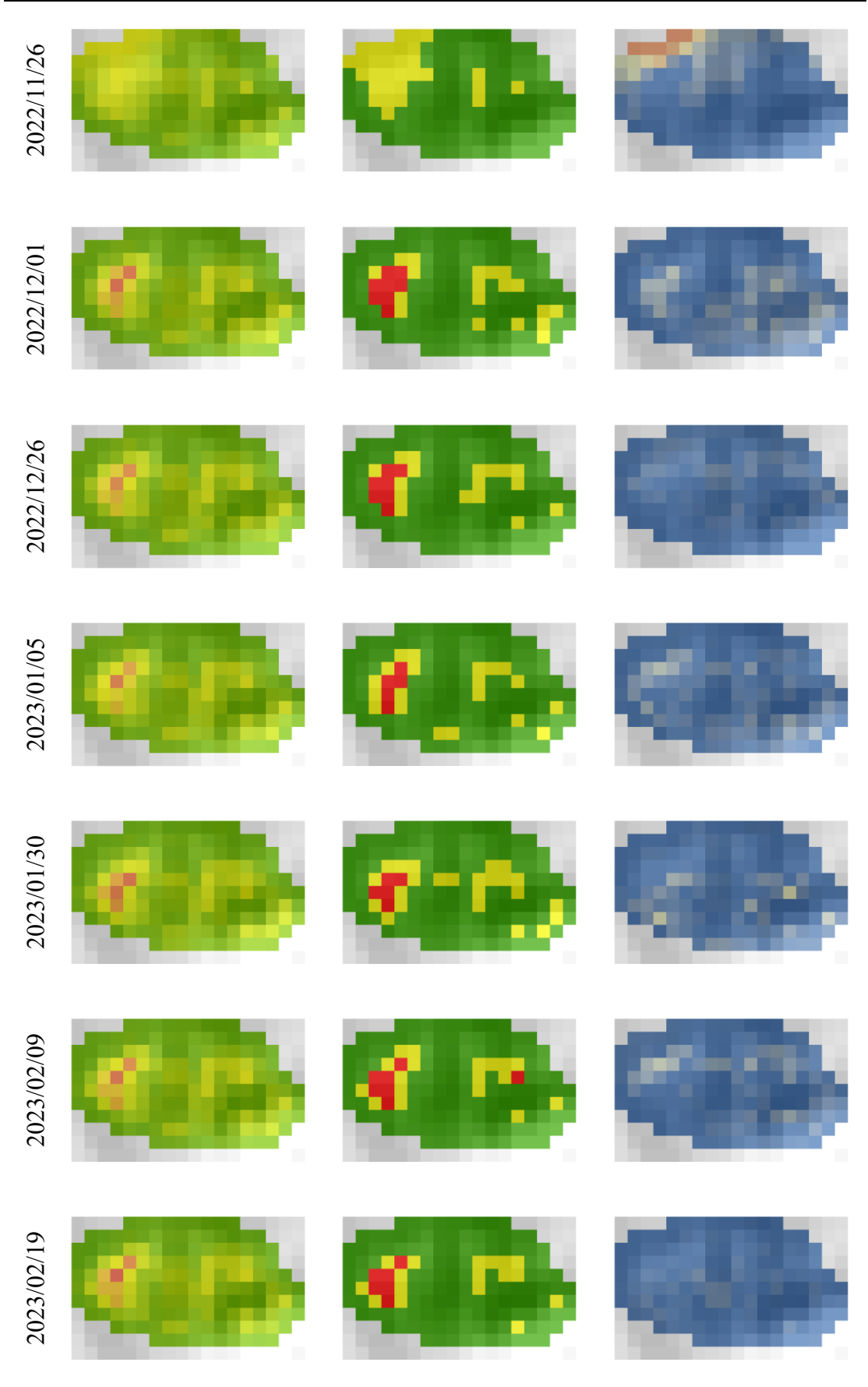


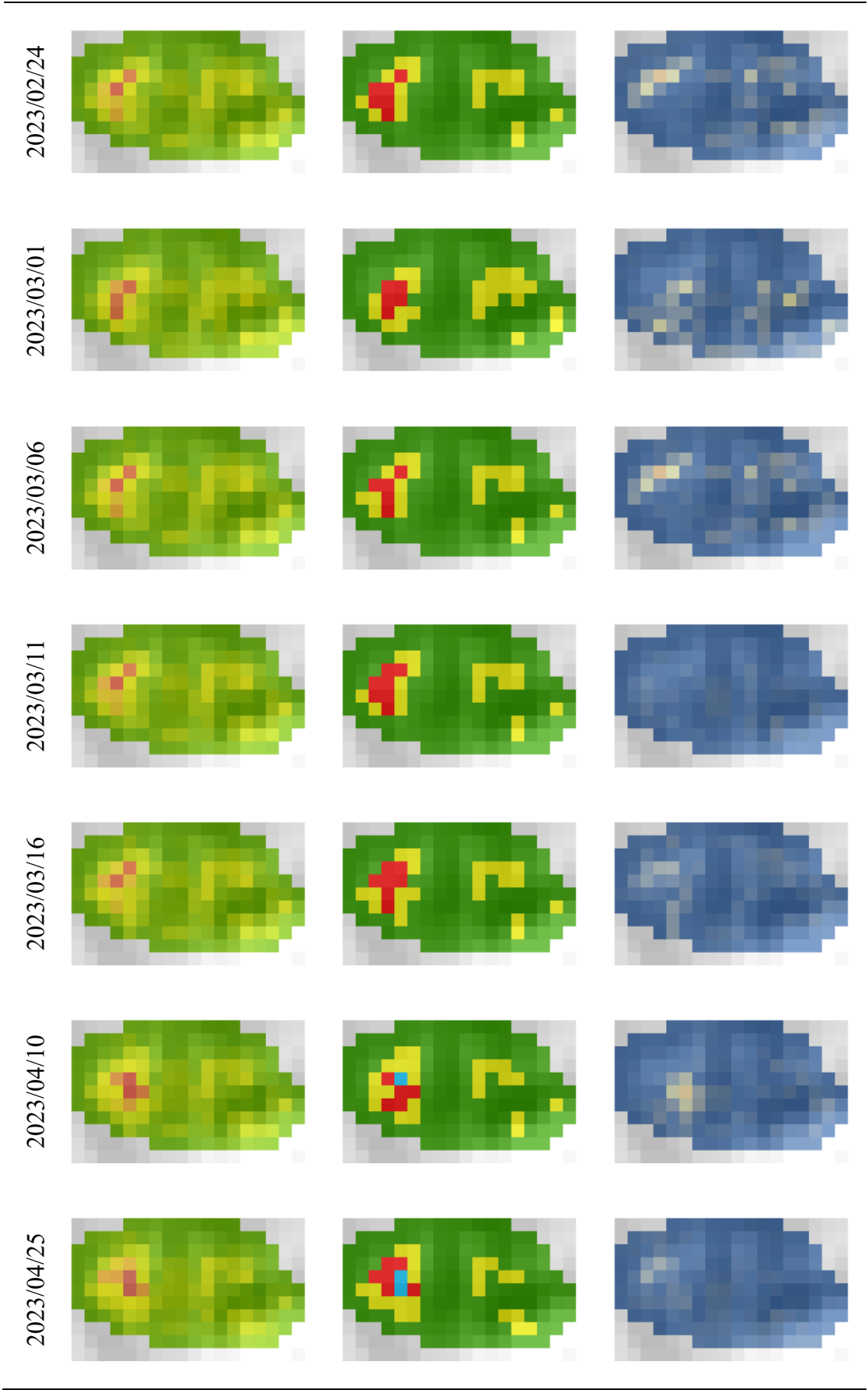


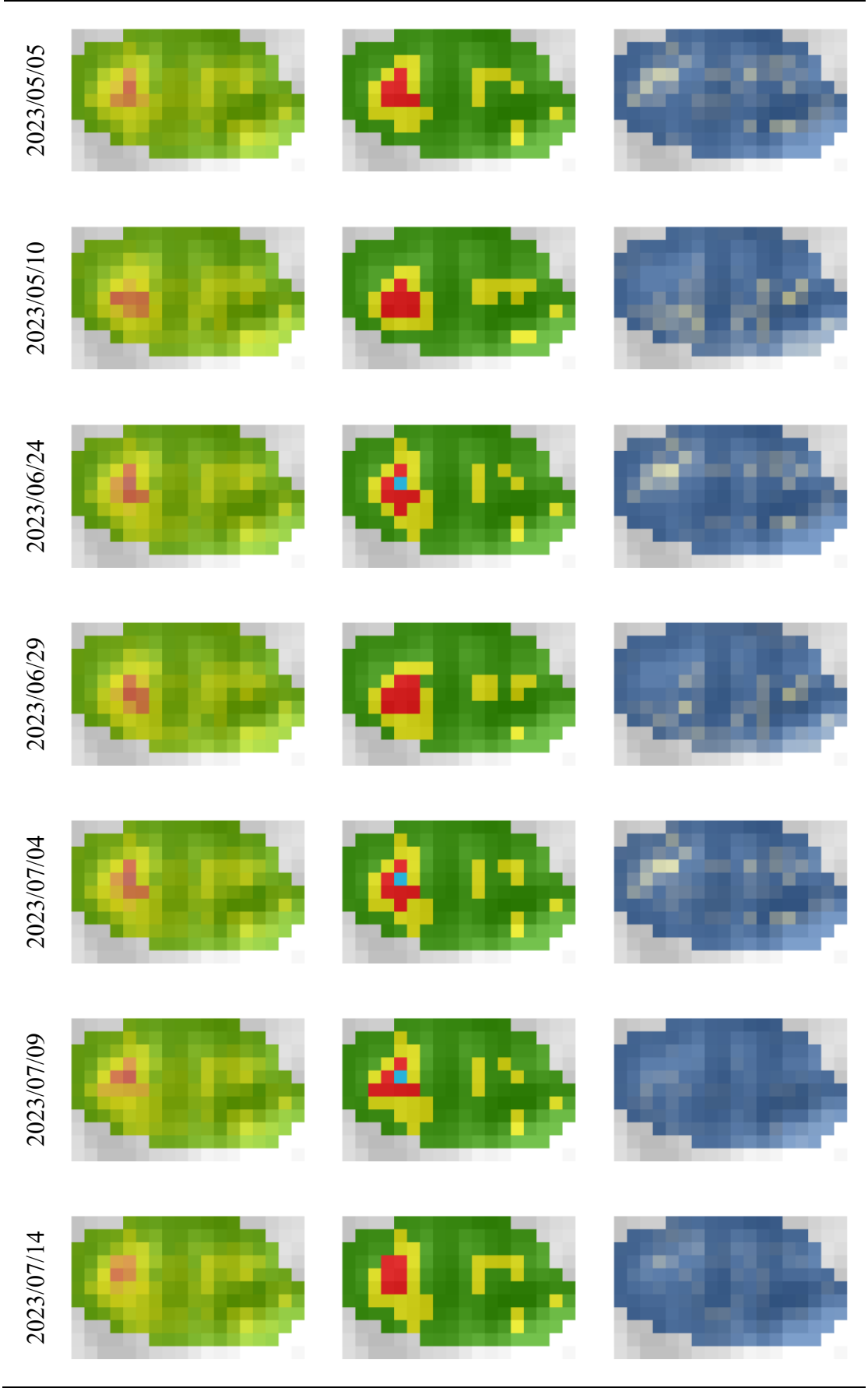


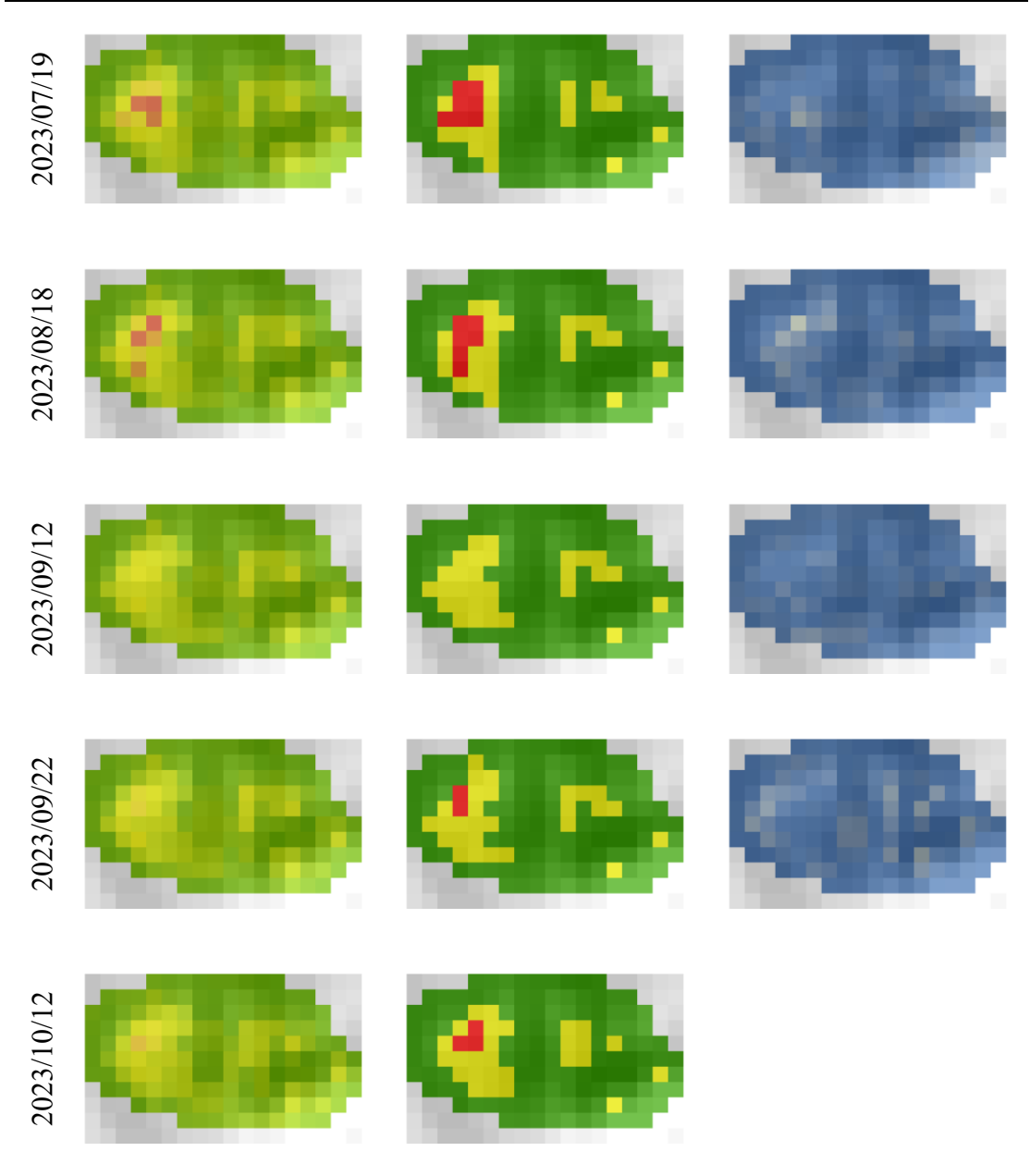












附錄四 計畫審查意見暨回覆辦理情形

一、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	在過去幾年分別嘗試過紋理、雷達干涉、可見光分類等種種方式後，本計畫要使用高光譜遙測的手段來判釋崩塌範圍，並以多期的資訊來達成變遷分析與穩定性評估的目標。這基於三項假設：崩塌後基岩可以完全裸露出來，衛星的感測器可以接收代表岩性特徵的波段，以及大氣校正可以準確地將衛星收到的訊號反演得到地表的反射率。建議執行計畫和撰寫報告書時，應著眼在這三點，詳細論述，並提供充足的證據，作為驗就是否成功之證明。以下就這三點假設，提出關注重點： 1.台灣地區風化嚴重，表土厚度可觀，恐非一次崩塌沖刷就	感謝委員建議，下面逐項回覆委員建議：1.礙於崩塌地現況之多時期資料難以取得，為確認基岩或表土，本研究利用過去於秀巒拍攝之無人機影像與現場照片資料，比對同時期(拍攝時間 2020 年 04 月 30 日)之 WLSI 分類成果來進行比對，發現兩者甚是相近，因此本研究提出之方法應確可信，相關說明已補充於報告書第三章、第二節、第 4 小節。 2. 本研究應用之 Sentinel-2 資料其波段 2 (Band 2)、波段 11(Band 11)的波長與本研究中選定的波長 518 nm 與 1648 nm 相近，因此可供指標之計算。 3. 本研究大氣校正之水氣波

項次	審查意見	回覆辦理情形
	會露出基岩，這可以透過現場量測地表高光譜反射頻譜資料，並與現有資料庫比對，可以判定裸露出來的究竟是不是基岩？或者還是表土？請確認。 2. 本研究使用 Sentinel-2 多光譜衛星，但該衛星並沒有岩性判釋需要，在 2,000-2,500nm 範圍內的波段，請問究竟要使用 Sentinel-2 的哪些波段？這些波段對於台灣幾種主要岩性的吸收反射特徵為何？建議詳細列表討論。如果不足，應該使用哪些波段？有哪些衛星可以提供呢？ 3. 附錄一提到要使用 FLAASH 模型來進行大氣校正，請問模型需要的水氣波段資訊，要如何獲得？FLAASH 足以準確地將衛星收到的訊號反演得到地表的反射率嗎？請提供完整分析與詳細討論。	段資訊包含 1050-1210nm，770-870 nm，870-1020nm 利用 ENVI 軟體進行 Sentinel-2 影像大氣校正時，相關資訊已包含在影像資料中，其他相關參數則為參考附錄一所列之參照表進行。另外，若於 Google Earth Engine (GEE) 平台進行 Sentinel-2 影像資料擷取時，可直接取得地表反射率之 ready image。

項次	審查意見	回覆辦理情形
二	本計畫以Sentinel-2的多光譜影像建立WLSI指標，對於崩塌坡面的母岩露頭及土壤(岩屑)似有不錯的分辨能力，透過多時序的追蹤，應可作為不安定土砂分布位置的評估方式，建議可增加案例試試。	感謝委員建議，本研究欲針對桃園光華、新竹秀巒以及高雄玉穗溪三處崩塌進行多時續追蹤及分析。
三	圖3-5顯示(c)(e)(f)於河道上判釋結果均為母岩，似與實際狀況不符？建議將玉穗溪判釋範圍向下游擴大至荖濃溪的匯流口處，以確認WLSI可明確判釋出河道上的堆積土砂。	感謝委員建議，本研究後續於第二年期將嘗試擴大範圍，以確認河道上之堆積情形。
四	P3-14玉穗溪於盧碧颱風崩塌後至今仍有大量土砂堆積於河道上，然而結果分析該河道於2021年9月的分類為母岩，建議此處可與實際現況相比，比以此進一步說明討論。	感謝委員建議，此成果為誤植，已於成果報告書中修正。修正之分析成果為崩塌下邊坡及河道有明顯的不穩定情形，有土砂持續遞移的狀況。
五	為因應機關組織改造，機關名稱修正為「農業部農村發展及水土保持署」，報告書封面及內文等請依本署最新範本格式撰寫，相關範本檔案請至本	感謝委員提醒。機關名稱已修正為「農業部農村發展及水土保持署」，並修改報告書封面。

項次	審查意見	回覆辦理情形
	署電子圖書管理中心下載 (https://elibrary.ardswc.gov.tw/)。	

二、現地查核會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	有關玉穗溪上游崩塌前偵測到水體乙節，建議與該期間降雨事件核對。	感謝委員建議，三個研究區都有蒐集鄰近雨量站的每日雨量資料，分別為光華－蘇樂測站、秀巒－田埔分校測站、玉穗溪－復興測站。。
二	對於WLSI分析結果，特別是母岩或岩屑土壤之判別，建議比對光學影像加以驗證，或針對已知地表屬性區域進行測試。	感謝委員建議，相關說明已補充於報告書第三章、第二節、第4小節。

三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	利用多波段光學衛星設計新的指標，可以更好分別出植被及水體。	感謝委員之肯定意見。
二	水的出現是很有趣的現象，值得進一步探討。	感謝委員建議，希望後續能有相關的現地監測資料加以佐證。
三	建議可以持續蒐集增加樣本數與圖集，方便後續使用與參考。	感謝委員建議，本研團隊未來將持續增加樣本收集來確認光學指標的應用性與限制。
四	表3-6玉穗溪案例的多時序分析結果中，在2021/08/28崩塌以後的WLSI似乎反而較崩塌前上升，似乎與崩塌後大多裸露母岩的情形相左，建議補充說明。	感謝委員建議，檢視2021/08/28及其後2021/09/27的WLSI分類成果可發現其坡面確為裸露母岩的情形，其分類成果圖資補充於附錄三。
五	此分類方法會受大面積坡面保護工程施作之影響？如光華崩塌地上邊坡等。	感謝委員建議，本研究發現桃園光華崩塌因噴漿致使坡面(施作面積約為1.5公頃)於光學影像中無明顯變化，無法偵測其持續之潛移狀況。