

邢东兴,王明军,陈玲侠,等. 桃树遥感辨识的最佳时相与方法[J].江苏农业学报,2019,35(4):919-926.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.024

桃树遥感辨识的最佳时相与方法

邢东兴¹, 王明军², 陈玲侠¹, 杨波¹, 焦俏¹, 张亚宁¹

(1.咸阳师范学院资源环境学院,陕西 咸阳 712000; 2.咸阳师范学院物理与电子工程学院,陕西 咸阳 712000)

摘要: 利用 35 景卫星影像,探寻桃树遥感辨识的最佳时相与方法。首先对各景影像分别进行预处理,随后利用 6 类试探性辨识方法(即地物反射光谱比较、波段差分或比值分析、光谱指数求算与分析、光谱指数变化追踪、影像复合与辨识方法协同分析)对试探组影像进行辨识分析,并从中选出 3 种较佳的辨识方法,最后利用优选的 3 种辨识方法对验证组影像进行辨识验证。结果表明:(1)在 10 月初的影像中,桃树具有较高的 $NDVI \times \rho_{NIR}$ 值,利用其阈值可以较高精度识别桃树(桃树分类正确率可达 94.8%,总体分类精度可达 91.33%);(2)在 4 月初(桃树盛花期)的影像中,利用 $NDVI$ 、 $1/\rho_{GREEN} - 1/\rho_{RED}$ 与 $\rho_{BLUE} + \rho_{GREEN} + \rho_{RED}$ 的三重阈值也可以较高精度识别桃树(桃树分类正确率可达 85.2%,总体分类精度可达 80.13%);(3)在上述两期数据融合、所用辨识方法协同的情形下,可进一步提高桃树的辨识精度(桃树分类正确率可提高到 96.53%,总体分类精度可提高到 93.37%);(4)桃树遥感辨识的最佳时相为 10 月初,较佳时相为 4 月初。

关键词: 桃树; 遥感影像; 树种辨识; 最佳时相; 光谱指数

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0919-08

Optimal phase and method for remote sensing identification of peach trees

XING Dong-xing¹, WANG Ming-jun², CHEN Ling-xia¹, YANG Bo¹, JIAO Qiao¹, ZHANG Ya-ning¹

(1. College of Resources and Environment, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China; 2. College of Physics and Electronic Engineering, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China)

Abstract: Using 35 satellite remote sensing images the optimal phase and method for remote sensing identification of peach trees were explored. Firstly, each scene image was preprocessed separately. Secondly, the three better identification methods were selected from the six kinds of tentative identification methods (comparison of reflectance spectra of ground objects, bands difference or ratio analysis, spectral indices calculation and analysis, spectral index change tracing, image fusion and identification method collaborative analysis) which were used to identify and analyze the images of test group. Finally, the images of verification group were verified by using the three better identification methods. The results showed the peach trees had higher values of $NDVI \times \rho_{NIR}$ in the early October, and the peach trees could be identified with higher accuracy by using threshold of the vegetation index (the correct rate of identifying peach tree species could reach 94.8%, the overall classification accuracy could reach 91.33%). In the early April (peach trees were in full bloom), the peach trees were also identified with higher accuracy by using the triple thresholds of $NDVI$ 、 $1/\rho_{GREEN} - 1/\rho_{RED}$ and $\rho_{BLUE} + \rho_{GREEN} + \rho_{RED}$

(the correct rate of identifying peach tree species could reach 85.2%, the overall classification accuracy could reach 80.13%). The identification precision of peach trees could be further improved with the fusion of the images in the two periods and the collaboration of two identification methods (the correct rate of identifying peach tree species

收稿日期:2018-11-21

基金项目:国家自然科学基金项目(61771385);陕西省优势学科建设项目(060103)

作者简介:邢东兴(1969-),男,陕西礼泉人,博士,工程师,主要从事农业遥感与精准农业研究。(Tel) 15592109530; (E-mail) 3036310771@qq.com

was increased to 96.53%, the overall classification accuracy was increased to 93.37%). The better phase for identifying the peach trees is early April, and the best phase for identifying peach trees is early October.

Key words: peach tree; remote sensing image; identification of fruit tree species; the best phase; spectral index

近年来,具有中高空间、时间与波谱分辨率的遥感技术系统发展迅猛,为快捷、准确地获取大面积果区内各种果树的栽植信息提供了技术可能。借助于遥感数据信息,各级果业主管部门可以及时有效地指导当地果农因地科学栽植果树,及时高效地优化调控当地果树栽植结构,进一步对果树种植区内各地块上果树的长势、病虫冻害、水分盈亏状况、营养元素胁迫状况以及果实质量高低等进行即时有效的遥感监测^[1]。

伴随着对地观测技术的发展,国内外相关研究人员相继利用各种遥感平台数据对森林中的一些树种、耕区内的一些农作物或某一农作物的不同品种的栽种信息进行了相对深入的监测辨识研究^[2-17]。但对于果树种植区树种栽植信息的遥感监测研究却显不足,从已有少量的研究文献来看,有的仅利用地面平台采集的单时相数据对果树种植区内少数树种进行了辨识研究^[18-19],有的虽利用卫星遥感数据但只采用单时相且仅对为数较少的果树树种进行了辨识研究^[17,20-22],对于果树种植区内桃树栽植信息进行遥感监测的研究文献至今鲜见。因此,本研究选取关中中部果树种植区作为研究区,利用35景遥感影像从反射光谱特性角度探寻桃树遥感辨识的有效途径与最佳时相,以期对关中果树种植区桃树栽植信息遥感监测提供理论与方法。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于关中平原中南部(图1),经纬度范围为 $34^{\circ}8'48.44''\sim 34^{\circ}45'7.41''N$, $108^{\circ}8'6.33''\sim 108^{\circ}59'25.32''E$ 。该区域主体位于渭北台塬上,平均海拔650 m,地势较为平坦。属暖温带半湿润气候,雨热同季,年均气温 $12.96^{\circ}C$,无霜期214 d,年均降雨量537~546 mm。该区域地处关中果业生产核心段,区内果树栽植结构复杂多样,目前,以成规模栽植的果树树种多达12种以上。区内同种果树修剪方式大致相同,树形接近。区内除果业生产以外,还有以冬小麦、夏玉米为主的粮食生产。区内各地都具有较好的灌溉条件。

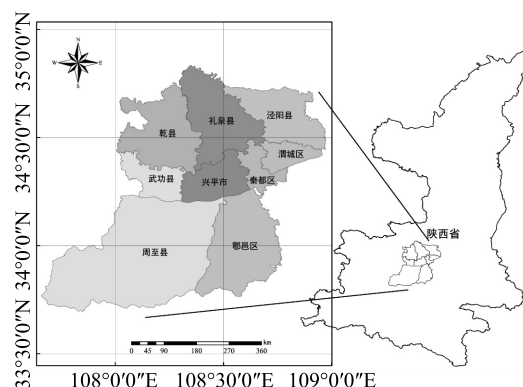


图1 研究区位置图

Fig.1 Location map of the research area

1.2 遥感影像与预处理

1.2.1 遥感影像 采用纵跨多年份的35景影像(含GF1_WFV、GF1_PMS、ZY3_MUS、ZY02C_PMS影像,其皆为L1级数据)进行分析对比与相互佐证。这些影像均采购于中国资源卫星应用中心,清晰质优。将这些影像分成2组:第1组33景影像用于探寻桃树遥感辨识的较佳时相与方法,即探试组;第2组8景影像(个别景影像与探试组影像重复)用于辨识验证,即验证组。在探试组中,所有影像又依采集年份而组合为3套影像(表1)。在每套影像组合时,当年份未能保证统一的情况下(受库存影像数量和质量等因素限制),尽量采用年份相近的影像;当年内月份未能保证连续的情况下,尽量采用日期接近的影像;在桃树的特殊物候期,加补对应时期的影像。第1套影像为分辨率16 m的GF1_WFV影像,获取的年份以2015年为主,其中GF1_WFV2-2016-06-19影像用来代替2015年6月的影像;第2套GF1_WFV影像获取年份以2016年为主,其中2017年2景影像分别用来代替2016年对应月份的影像;第3套影像以2017年采集的分辨率为8 m的GF1_PMS影像为主,缺失月份的影像用分辨率分别为6 m、10 m的ZY3、ZY02C影像替代,这些影像虽然没有覆盖研究区全部,但其交集覆盖了研究区内的桃树主产区。在验证组中,8景影像依分析所需也划分为3套(表2)。

1.2.2 遥感影像预处理 利用遥感图像处理软件

ENVI5.1 分别对上述各景影像依次进行了如下预处理:(1)影像辐射定标,采用的定标公式以及定标参数均来自中国资源卫星应用中心,定标公式为 $L = a \times DN + b$,式中 L 为辐射亮度, a 、 b 分别为增益与偏置, DN 为影像像元灰度值;(2)影像镶嵌与空间裁剪;(3)影像大气辐射校正,为了消除大气引起的辐射误差以获取更真实的地物反射光谱数据,利用大气辐射校正模块 FLAASH 对各景影像分别进行大气辐射校正,在校正时考虑邻边效应、传感器的天顶角与方位角等;(4)影像正射校正,对空间分辨率 ≤ 10 m 的影像进行正射校正;(5)影像几何校正,对空间分辨率为 16 m 的影像采用相同的几何校正参数(包括投影类型、校正数学模型、像元灰度重采样方法等)进行几何校正;(6)均值滤波,对每景影

像中的各个波段分别进行 3×3 的均值滤波,以剔除少数奇异灰度值。

1.3 辨识目标限定

由于经样本采集、数值对比与分析后得知幼年与成年桃树的反射光谱存在差异,加之由于单块宽度不同的桃树地受相邻地物反射光谱影响的程度不同,因此将树龄 ≥ 4 年(从 2014 年算起)、地块宽度 ≥ 32 m(即 $16 \text{ m} \times 2$ 或 $8 \text{ m} \times 4$)、面积 $\geq 1\,800 \text{ m}^2$ 的桃树地块作为辨识目标,而将树龄 ≥ 4 年(从 2014 年算起)的其他果树、小麦/玉米作为与桃树区别的主要地物。考虑到裸地、城乡建筑与道路、水体、低龄果树等与桃树的反射光谱差异较大,而将其作为与桃树区别的次要目标。

表 1 探试组遥感影像

Table 1 Remote sensing images of test group

第 1 套遥感影像组合		第 2 套遥感影像组合		第 3 套遥感影像组合	
传感器与影像采集时期	桃树物候期	传感器与影像采集时期	桃树物候期	传感器与影像采集时期	桃树物候期
GF1_WFV1-2015-01-23	休眠期				
GF1_WFV2-2015-02-13	休眠期	GF1_WFV1-2016-02-29	休眠期	ZY3_MUX-2016-02-26	休眠期
GF1_WFV3-2015-03-14	休眠期	GF1_WFV4-2017-03-08	休眠期	GF1_PMS2-2017-03-25	萌芽期
GF1_WFV4-2015-04-16	花期已过	GF1_WFV2-2016-04-02	盛花期	GF1_PMS1-2017-04-02(1)	盛花期
GF1_WFV2-2015-05-06	果实发育期	GF1_WFV3-2016-05-01	果实发育期	GF1_PMS2-2017-04-02(2)	盛花期
GF1_WFV2-2016-06-19	早熟果成熟期	GF1_WFV2-2016-06-19	早熟果成熟期	GF1_PMS2-2017-04-27	果实发育期
GF1_WFV3-2015-07-19	中熟果成熟期	GF1_WFV1-2016-07-01	中熟果成熟期	GF1_PMS1-2017-05-01	果实发育期
GF1_WFV2-2015-08-29	晚熟果成熟期	GF1_WFV3-2016-08-28	晚熟果成熟期	ZY3_MUX-2017-06-22	早熟果成熟期
GF1_WFV3-2015-09-06	黄桃等成熟期	GF1_WFV3-2017-09-12	黄桃等成熟期	GF1_PMS1-2017-07-22	中熟果成熟期
GF1_WFV3-2015-10-01	果实采后期	GF1_WFV1-2016-10-03	果实采后期	ZY3_MUX-2017-08-10	晚熟果成熟期
GF1_WFV2-2015-11-27	落叶期	GF1_WFV3-2016-11-30	落叶期	ZY02C_PMS-2016-09-08	黄桃等成熟期
GF1_WFV2-2015-12-01	休眠期	GF1_WFV4-2016-12-05	休眠期	GF1_PMS2-2016-10-08	果实采后期

GF1_PMS1-2017-04-02(1)与 GF1_PMS2-2017-04-02(2)指相同时间相邻接的两景影像。

表 2 验证组遥感影像

Table 2 Remote sensing images of validation group

10 月初的验证影像		4 月初的验证影像		两时段影像复合验证	
传感器与影像采集时期	桃树物候期	传感器与影像采集时期	桃树物候期	传感器与影像采集时期	桃树物候期
GF1_PMS2-2014-10-05	果实采后期				
GF1_WFV3-2015-10-01	果实采后期	GF1_WFV2-2016-04-02	盛花期		
GF1_PMS2-2016-10-08	果实采后期	GF1_PMS-2017-04-02	盛花期	GF1_PMS-2017-04-02	盛花期
		(镶嵌)		(镶嵌)	
GF1_WFV1-2016-10-03	果实采后期	GF1_WFV3-2018-03-29	盛花期	GF1_PMS2-2016-10-08	果实采后期

GF1_PMS-2017-04-02(镶嵌)指 GF1_PMS1-2017-04-02(1)与 GF1_PMS2-2017-04-02(2)两景影像的镶嵌影像。

1.4 辨识方法探寻

在借鉴前人对各种植被进行遥感辨识所采用的方法以及对各种植被指数构建的方法^[2-25]的同时,结合自己长期野外观察感知与当期桃树的反射光谱特征,先采用如下探试性方法对桃树进行探试辨识。(1)同期影像反射光谱比较:在每期影像(指单景影像或准同时相邻接的两景影像的拼接影像)中,采集 13 种作物的反射光谱(每种作物采集的样地块数均在 44 至 50 之间,共 624 块,其中桃树样地为 53 块),并对其加以对比分析,以探寻桃树当期反射光谱特征与其他作物的差异;(2)同期影像波段差分或比值分析:对每期影像所含的多个波段先后进行一阶、二阶、三阶差分或比值运算,得到该期影像的波段差值序列或比值序列,以探寻桃树对应的波段差值序列或比值序列与同期其他作物的差异;(3)同套邻期影像差值或比值分析:在同套影像中,先后对相邻时期、相隔 1 期、相隔 2 期的两期影像进行

(同波段)求差或求比运算,以探寻桃树对应的邻期或隔期光谱变化与其他作物的差异;(4)同期影像光谱指数求算与分析:对每期影像先后采用表 3 中的每一个光谱指数计算公式进行相应的波段运算,以探寻辨识精度较高的光谱指数与较佳的辨识时相;(5)同套连期光谱指数变化追踪:首先在表 3 中任选一个光谱指数,对同套中的每期影像分别进行波段运算,随后基于 ROI(感兴趣区)采样、列表与数据处理等以观察桃树对应的该光谱指数值序列、该光谱指数值邻期或隔期差分序列与其他作物的差别。用同样的方法对表 3 中其他公式予以一一探试。(6)影像复合与辨识方法协同分析:为了进一步提高桃树的辨识精度,将几种辨识效果较好的辨识方式所用到的影像进行复合,并进行相应的处理与分析,以探试多期影像复合、多种辨识方法协同对桃树辨识的潜能。

表 3 植被指数及其计算公式^[26]

Table 3 Vegetation indices and their calculation formulas

$NDVI^* = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$	$EVI^* = 2.5 \times [(\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE} + 1)]$
$ARVI^* = [\rho_{NIR} - (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})] / [\rho_{NIR} + (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})]$	$RG^* = \rho_{RED} / \rho_{GREEN}$
伪 $CRI1 = 1/\rho_{BLUE} - 1/\rho_{GREEN}$	伪 $CRI2 = 1/\rho_{GREEN} - 1/\rho_{RED}$
伪 $ARI2 = \rho_{NIR} \times (1/\rho_{RED} - 1/\rho_{GREEN})$	$VI1 = (\rho_{RED} + \rho_{BLUE}) / \rho_{GREEN}$
$VI2 = [(\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})] \times \rho_{NIR} = NDVI \times \rho_{NIR}$	$VI3 = \rho_{BLUE} + \rho_{GREEN} + \rho_{RED}$
$VI4 = [(\rho_{RED} + \rho_{BLUE}) / \rho_{GREEN}] / [(\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})]$	$VI5 = (\rho_{BLUE} + \rho_{GREEN} + \rho_{RED}) / NDVI$

借鉴前人的光谱指数,其余光谱指数为作者依据桃树物候期内的林相与反射波谱特征而提出的。

2 结果

2.1 桃树遥感辨识方法的优选

在辨识方法探寻过程中,发现以下 3 种辨识方法对桃树具有一定的辨识能力:(1)在 10 月初,各桃树样地均具有相对较高的 $NDVI \times \rho_{NIR}$ (记为 $VI2$)值,其均值明显高于其他作物分别对应的数十个样地上的 $VI2$ 均值(表 4,数据源于第 1 套影像组合)。究其原因是桃树在入秋后依然保持枝繁叶茂、叶色青绿,以致其叶面积指数、冠层叶绿素含量居高不下,进而致使桃树在红光波段的反射率偏低而在近红外波段的反射率偏高(图 2)。藉此可知,在 10 月初的影像中,仅利用 $VI2$ 的阈值可将桃树以较高精度辨识出来。(2)在 4 月初的影像中,若单独采用表 3 中的任一个光谱指数,都难以较高精度将桃树

从 13 种作物中辨出,即便是采用设想中的辨识精度高的 $\rho_{RED} / \rho_{GREEN}$ 或 $1/\rho_{GREEN} - 1/\rho_{RED}$ (记为伪 $CRI2$)也未取得较理想的辨识精度。其主要原因有:①不同种类的果树枝型、颜色、物候有别;②有的果树地块地面无杂草或杂草少(从入春到桃树开花时段至少经历过 1 次锄草过程),而有的地面杂草比较多(从入春到桃树开花时段从未锄过草),这样降低了植被指数的辨识能力。通过进一步分析比较,发现若采用 $NDVI$ 、伪 $CRI2$ 与 $\rho_{BLUE} + \rho_{GREEN} + \rho_{RED}$ (记为 $VI3$)的三重阈值,则可将桃树从 13 种作物中以较高精度辨识出来。(3)在上述两期数据融合、所用辨识方法协同的情形下,可进一步提高桃树的辨识精度。下文将上述桃树辨识方法探寻结果应用于验证组影像中,进行辨识验证。

表 4 13 种作物在各期影像中的 $NDVI \times \rho_{NIR}$ 值Table 4 $NDVI \times \rho_{NIR}$ values of 13 crops in the images of different periods

日期(月-日)	桃树	樱桃	杏树	石榴	葡萄	柿子	桑葚	酥梨	核桃	李子	苹果	猕猴桃	粮食作物
01-23	0.023	0.030	0.019	0.020	0.022	0.019	0.026	0.022	0.011	0.031	0.024	0.011	0.101
02-13	0.035	0.032	0.029	0.023	0.025	0.019	0.034	0.031	0.014	0.034	0.032	0.017	0.111
03-14	0.067	0.056	0.064	0.056	0.050	0.057	0.080	0.065	0.051	0.064	0.065	0.048	0.225
04-16	0.074	0.061	0.089	0.045	0.038	0.048	0.114	0.093	0.038	0.088	0.102	0.043	0.263
05-06	0.157	0.175	0.193	0.152	0.059	0.098	0.207	0.192	0.109	0.217	0.216	0.126	0.199
06-19	0.150	0.183	0.128	0.124	0.179	0.087	0.087	0.171	0.114	0.217	0.200	0.186	0.026
07-19	0.227	0.186	0.144	0.166	0.215	0.246	0.064	0.190	0.270	0.221	0.210	0.180	0.119
08-29	0.194	0.131	0.096	0.141	0.151	0.169	0.149	0.146	0.171	0.175	0.165	0.149	0.173
09-06	0.241	0.158	0.129	0.193	0.187	0.183	0.175	0.193	0.195	0.224	0.208	0.173	0.211
10-01	0.219	0.127	0.122	0.141	0.137	0.109	0.142	0.150	0.136	0.162	0.140	0.119	0.084
11-27	0.101	0.055	0.052	0.051	0.041	0.020	0.057	0.058	0.020	0.070	0.068	0.038	0.097
12-01	0.117	0.089	0.075	0.079	0.070	0.076	0.083	0.086	0.064	0.081	0.083	0.049	0.140

粮食作物指 6 月中旬之前种植的冬小麦与之后种植的夏玉米。

2.2 10 月初桃树遥感辨识验证结果

首先利用 $VI2$ 公式对表 2 左列四景影像分别进行波段运算,随后在运算结果图中采集各种作物样地内的 ROI ,通过均值求算、分析比较而得出分割桃树与其他作物的阈值,最后利用基于专家知识的决策树分类方法进行类别划分。通过对 4 个分类图分别进行严判,发现其分割结果皆较为理想,各桃树样地均被正确识别(若每个地块约 $\geq 75\%$ 的像元被正确识别,即认为该地块被正确识别,否则认为错分),并且其分类地块的形状皆较规整。除个别梨树、李子地块被错分为桃树地块之外,其他非桃树样地皆被正确识别为非桃树地块。

以 GF1_PMS2-2016-10-08 影像为例,其分类前的假彩色合成影像见图 3。对该影像进行 $VI2$ 求算的结果见图 4。对图 4 采用 $0.24 \leq VI2 \leq 0.32$ 的阈值进行分割,将其分割结果(2 色图,红色标示桃树)与图 4 叠置(图 5)。从图 5 可见,各桃树样地皆被正确识别,并且其分类地块的形状皆较为规整。571 块非桃树样地中 98.6% 被正确识别,仅有 1.4% 的地块(含 3 个梨树地块、5 个李子树地块)被错分为桃树,经实地调查得知其错分原因,要么其内部套栽桃树,要么其内长有嫩绿而茂密的杂草。在该图中未发现非农地物被错分为桃树的现象。从采集的 ROI 集合所构建的混淆矩阵来看,桃树(像元)类的正确识别率达到 94.8%,总体(像元)分类精度达

到 91.33%。

2.3 4 月初桃树遥感辨识验证结果

对 4 月初的验证影像(表 2)分别采用 $NDVI$ 、伪 $CRI2$ 与 $VI3$ 公式进行波段运算,随后分别将每期影像所衍生的 3 个求算结果图予以合成,并在合成图中采集各种作物样地内的 ROI ,通过均值求算、分析比较而得出分割桃树与其他作物的阈值,最后利用基于专家知识的决策树分类方法进行类别划分。在对 3 个分类图进行严判后,发现其分割结果皆不如 10 月初的分割结果,但分割结果尚可接受。从分割图中可见各桃树样地均被正确识别,但有少数分类地块的形状不太规整,原因是在阈值设定时,为了将易与桃树混淆的葡萄树、樱桃树、杏树划归为非桃树,而将阈值设定较高所致。除少数葡萄、樱桃、杏树地块被错分为桃树地块外,其他非桃树样地均被正确划归为非桃树地块。

以 GF1_PMS2-2017-04-02 影像为例,其分类前的假彩色合成影像见图 6,对其进行三种波段运算后得到 $NDVI$ 图、伪 $CRI2$ 图与 $VI3$ 图。将这 3 个图像合成后,在其上采集各种作物样地内的 ROI 。通过均值求算、分析比较而得出分割桃树与其他作物的三重阈值(图 7)。最后基于设定的阈值构建决策树,并利用决策树分类方法进行类别划分。分类图(2 色图,黄色标示桃树)与分类前图像的叠置图见图 8。

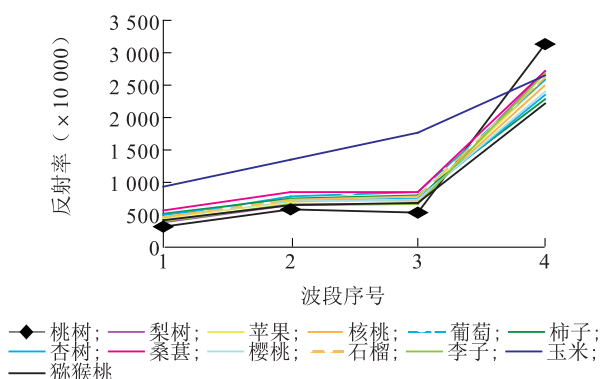


图 2 10 月初 13 种作物的反射光谱

Fig.2 The reflection spectra of the 13 crops in early October



图 3 分类前的 GF1_PMS2-2016-10-08 影像(假彩色合成图)

Fig.3 GF1_PMS2-2016-10-08 image before classification (false color composite image)

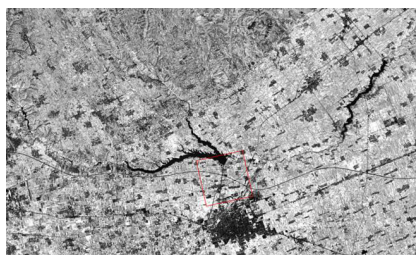


图 4 对波段进行代数运算后所得到的 V12 指数图

Fig.4 The V12 index image obtained by algebraic operation of band

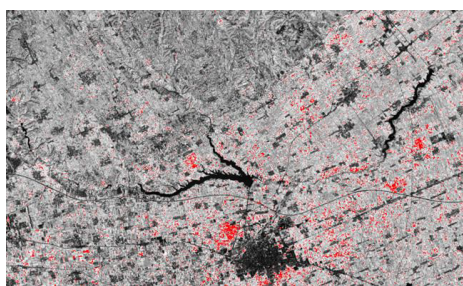


图 5 10 月初分类图与 V12 指数图的叠置图

Fig.5 The overlay image of classification image and V12 index image in early October

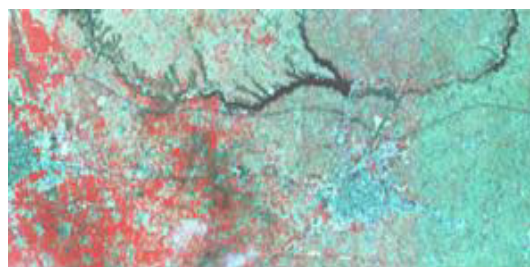


图 6 分类前的 GF1_PMS2-20170402 影像(假彩色合成图)

Fig.6 GF1_PMS2-20170402 image before classification (false color composite image)

对图 8 进行严判后发现,各桃树样地皆被正确识别,但有少数分类地块的形状不太规整,尤其是树龄不均的地块。非桃树样地中 97.55% 被正确识别,有 2.45% 的地块(含 3 个葡萄、6 个樱桃、5 个杏树地块)被错分为桃树地块,这些樱桃树和杏树被错分为桃树的原因可能是其反射光谱与桃树比较接近(樱桃树与桃树几乎同时开花,其枝皮、嫩叶稍呈紫红色;此时杏树花虽早败,但其部分干花、花托仍留在枝头),而葡萄树被错分的原因是阈值设定较低所致。

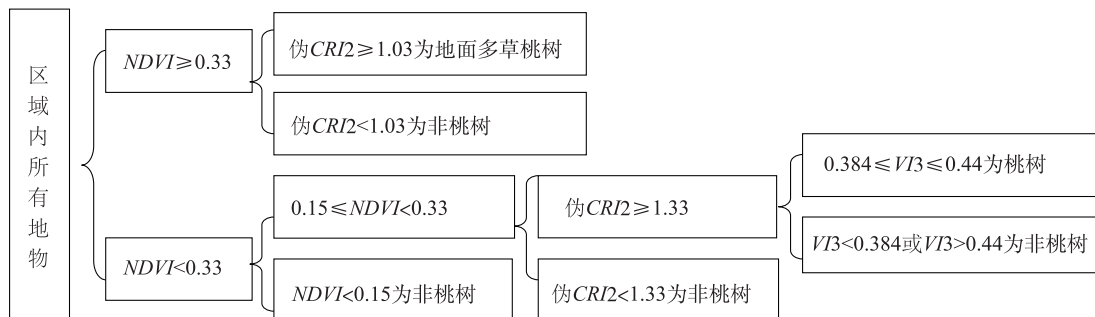


图 7 4 月初合成影像分类的三重阈值

Fig.7 The triple thresholds for classifying synthetic image in early April

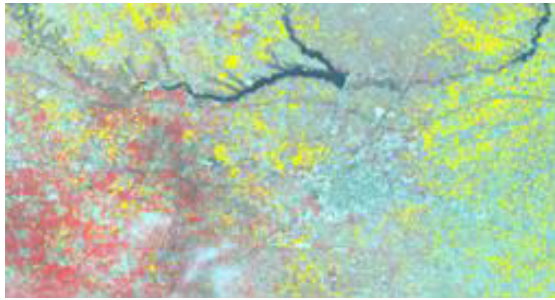


图8 4月初的分类图与图6的叠置图

Fig.8 The overlay image of classification image in early April and figure 6

从采集的 ROI 集合所构建的混淆矩阵来看,桃树(像元)类的正确识别率达到 85.2%,总体(像元)分类精度达到 80.13%。

2.4 两时段影像的复合验证

首先对表 2 右列两期影像进行配准、合成与剪

裁,随后分别利用 $NDVI$ 、伪 $CRI2$ 与 $VI3$ 指数对 4 月份影像进行波段运算,利用 $VI2$ 指数对 10 月影像进行波段代数运算。将求得的 4 个图像依 $NDVI_{4月} \rightarrow$ 伪 $CRI2 \rightarrow VI3 \rightarrow VI2_{10月}$ 的顺序予以合成,并在合成图像中采集各种作物样地内的 ROI。

在设定阈值、构建决策树时,鉴于三方面因素(一是 10 月初的分类精度高于 4 月初;二是 10 月初的分类方法易将一些梨树、李子树错分为桃树,而对樱桃树、葡萄树、杏树具有很高的区分度;三是 4 月初的分类方法易将一些樱桃树、葡萄树、杏树错分为桃树,而对梨树、李子树具有很高的区分度),将 4 月初的分类阈值予以适当调整,以使得桃树的各个分类地块与实际地面投合,并且将 4 月初的分类置于 10 月初的前面,最终构建的分类方法见图 9。最后利用基于专家知识的决策树分类方法进行类别划分,分类结果见图 10。

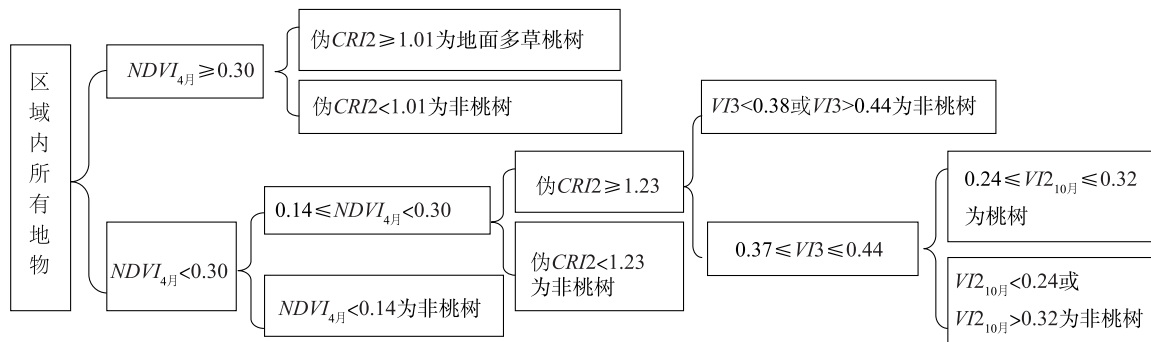


图9 合成影像分类的阈值

Fig.9 The thresholds for classifying synthetic image

通过判读图 10 以及实地验证得知,此方法可进一步提高桃树的辨识精度。全部桃树样地以及随机抽选的被识别为桃树的地块皆被正确识别,并且其分类地块皆较为规整。非桃树样地的正确识别率也得以提高,易与桃树混淆的果树(例如 10 月初的梨树与李子树,4 月初的葡萄树、樱桃树与杏树)地块被错误识别的数量得以缩减。从 ROI 集合所构建的混淆矩阵看,桃树(像元)类的正确识别率提高到 96.53%,总体像元分类精度提高到 93.37%。

2.5 桃树遥感辨识的最佳时相

从上述探试性辨识过程及探寻结果中发现,利用卫星遥感影像辨识桃树的较佳时相为 4 月初与 10 月初,其他时相内的辨识效果皆不够理想。这与我们多年持续的野外观察结果相吻合。在 4 月初,研究区内的桃树正值开花期,其独特的林相(粉艳的花色、隐现的纤叶)及其反射波谱与其他果树有

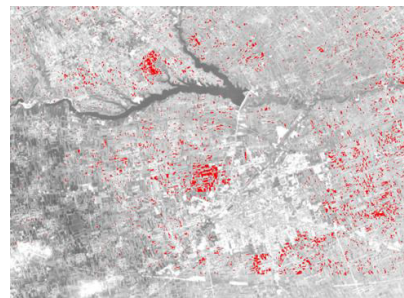


图10 复合图像的分类图与 10 月初的 NDVI 图像的叠置图

Fig.10 The overlay image of classification image from synthetic image and NDVI image in early October

明显区别;在 10 月初,当其他果树或叶色衰变或果显叶稀时,桃树依然保持枝繁叶茂、叶色青绿的林相,这使得其叶面积指数、冠层叶绿素含量居高不下,因而与其他果树的反射波谱存在明显差异。在

其他时期内,桃树与其他果树在林相、冠层覆盖度等方面较为接近,反射波谱相似,因而难于分辨。

通过对比4月初与10月初这2个时相,发现利用10月初的影像及其分类方法在数据处理过程、影像分类过程、分类结果精度等方面皆优于4月初的。由此可知利用卫星影像辨识桃树的最佳时相为10月初,4月初次之。

3 结论

综上所述可得出如下4点结论:(1)研究区内桃树在10月初具有较高的 $VI2$ 值,在10月初的影像中利用 $VI2$ 的阈值可以较高精度将桃树从13种作物中辨识出来,若有错分,极有可能是将少数李子树、梨树错分为桃树;(2)在4月初(桃树盛花期)的影像中,利用 $NDVI$ 、伪 $CRI2$ 与 $VI3$ 的三重阈值也可以较高精度识别桃树;(3)在上述两期数据融合、所用辨识方法协同的情形下,可进一步提高桃树的辨识精度;(4)桃树遥感辨识的最佳时相为10月初,4月初(桃树盛花期)次之。

以上4点结论是在对连续多年的数十期卫星影像数据进行了一系列繁复处理、仔细求算与谨慎分析的基础上得出的,因而具有一定的可靠性。诸结论可适用于关中果区正常年份(花期无霜冻、夏季无冰雹)的桃树遥感辨识,也可能适用于同纬度带的河南、山西、山东局地。对于与上述地域在地形、气候、水文、物候等方面存有差异的其他地区,在开展桃树遥感辨识时可借鉴结论中的光谱指数及其联用方式,而对结论中的两个辨识时相应予以适当调整。

限于所用影像波谱分辨率较低、高空间分辨率影像覆盖地域较小以及辨识方法简陋等因素,本研究所得结论必有瑕疵,在后续研究中将予以补充、完善。

致谢:感谢中国资源卫星应用中心提供卫星影像!

参考文献:

- [1] 邢东兴.基于高光谱数据的果树理化性状信息提取研究[D].西安:西北农林科技大学,2009.
- [2] BADWHAR G D. Use of LANDSAT derived profile features for spring small grains classification[J]. International Journal Remote Sensing, 1993, 7: 65-82.
- [3] BOYD D S, RIPPLE W L. Potential vegetation Indices for determining global forest cover[J]. International Journal Remote Sensing, 1997, 18(6): 1395-1401.
- [4] MARTIN M E, NEWMAN J D A, CONGALTON R C. Determining forest species composition using high spectral resolution remote sensing data[J]. Remote Sense Environ, 1998, 65: 249-254.
- [5] ATKINSON P M, EMERY D R. Exploring the relation between spatial structure and wavelength: Implications for sampling reflectance in the field[J]. International Journal Remote Sensing, 1999, 20(13): 2663-2678.
- [6] DUNGAN J. Spatial prediction of vegetation quantities using ground and image data[J]. Int J Remote Sensing, 1998, 19(2): 267-285.
- [7] ROBERTS D A, GARDNER M, CHURCH R. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models[J]. Remote Sense Environ, 1997, 65: 267-279.
- [8] 宫 鹏, 浦瑞良, 郁 斌. 不同季相针叶林树种高光谱数据识别分析[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 211-217.
- [9] ZHANG B, ZHAO Y C, TONG Q X. Hyperspectral remote sensing applied on precision agriculture in China[R]. Beijing: ICASIT, Information Technology of Agriculture, 2001.
- [10] 王长耀, 刘正军, 颜春燕. 成像光谱数据特征选择及小麦品种识别实验研究[J]. 遥感学报, 2006, 10(2): 249-255.
- [11] 邹尚辉. 植被资源调查中最佳时相遥感图象的选择研究[J]. 植物学报, 1985, 27(5): 525-531.
- [12] 王新辉, 沈掌泉, 王 珂. 基于面向对象的香榧资源分布遥感调查研究[J]. 科技通报, 2009, 25(2): 160-166.
- [13] 王 崇, 吴 见. 农作物种类高光谱遥感识别研究[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(2): 29-33.
- [14] 黄启厅, 曾志康, 谢国雪, 等. 基于高时空分辨率遥感数据协同的作物种植结构调查[J]. 南方农业学报, 2017, 48(3): 552-560.
- [15] 胡永森, 王 力, 施开分, 等. 基于分区分层随机抽样的棉花种植面积遥感监测方法研究[J]. 河南农业科学, 2016, 45(10): 155-160.
- [16] 田光辉, 李海亮, 陈汇林. 基于物候特征参数的橡树树种种植信息遥感提取研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(28): 46-52.
- [17] 董 芳, 赵庚星, 王 凌. 基于实测光谱混合像元分解的苹果园地遥感提取技术[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3361-3368.
- [18] 邢东兴, 常庆瑞. 基于光谱分析的果树树种辨识研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1937-1940.
- [19] 邢东兴, 常庆瑞. 基于花期果树冠层光谱反射率的果树树种辨识研究[J]. 红外与毫米波学报, 2009, 28(3): 207-211.
- [20] 岳 俊, 王振锡, 冯振峰. 基于光谱与纹理特征的新疆盆地果树树种遥感识别研究[J]. 新疆农业大学学报, 2015, 38(4): 326-333.
- [21] 李 雪, 钟仕全, 王 蕾, 等. 基于HJ卫星遥感数据的林果光谱特征分析[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(11): 1967-1973.
- [22] 杨 辽. 基于多光谱数据的库勒勒香梨种植面积提取研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2015.
- [23] 苗荣慧, 黄锋华, 杨 华, 等. 基于空谱一体化的农田高光谱图像分类[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(4): 818-824.
- [24] 郑曼迪, 熊黑钢, 乔娟峰, 等. 基于综合光谱指数的不同程度人类干扰下土壤有机质含量预测[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(5): 1048-1056.
- [25] 孟令奎, 李晓香, 张 文. 植被覆盖区 VIIRS 与 MODIS 遥感指数的相关性[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 570-577.
- [26] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 378-385.

(责任编辑:张震林)