

植烟土壤干旱度光谱判别方法研究

徐兴阳¹, 何春荣², 方荣启¹, 劳彩莲^{2*}, 秦春丽¹

(1. 云南省烟草公司 昆明市公司, 云南 昆明 650051; 2. 中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要:为了实时、准确地判别植烟土壤的干旱程度,利用可见—近红外光谱技术,以云南省寻甸县的红壤、水稻土和紫色土为研究对象,针对遮雨棚内种植烤烟品种 K326 的根际土壤干旱度开展光谱判别方法研究。通过在烤烟旺长期至现蕾期,对每种土壤类型设正常水分、中度干旱、重度干旱 3 个不同浇水量处理,采集不同土壤类型、不同土壤干旱程度的反射光谱,分别建立植烟土壤干旱度光谱距离判别分析模型、Bayes 判别分析模型、Fisher 判别分析模型和支持向量机(SVM)判别分析模型。结果表明,采用支持向量机(SVM)建立的植烟土壤干旱度光谱判别分析模型的效果要优于其他 3 种方法,其中红壤干旱度建模集判别正确率为 94.34%,检验集判别正确率为 88.46%;水稻土干旱度建模集判别正确率为 90.00%,检验集判别正确率为 91.67%;紫色土干旱度建模集判别正确率为 100%,检验集判别正确率为 92.00%。综上所述,利用可见—近红外光谱技术可以对植烟土壤干旱度进行有效判别。研究将为制订烟叶生产旺长期至现蕾期的灌溉指标提供科学依据,对烟叶生产具有非常重要的利用价值。

关键词:烤烟;土壤;干旱度;反射光谱;支持向量机

中图分类号:S572.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-5639(2016)06-0001-06

DOI:10.14091/j.cnki.kmxyxb.2016.06.001

Study on the Spectrum Determination of Drought Degree of Tobacco-growing Soil

XU Xingyang¹, HE Chunrong², FENG Rongqi¹, LAO Cailian^{2*}, QIN Chunli¹

(1. Yunnan Tobacco Company Kunming Branch, Kunming, Yunnan, China 650051;

2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing, China 100083)

Abstract: In order to get real-time and accurate determination of the drought degree of tobacco-growing soil, we studied red soil, paddy soil and purple soil in Xundian County, Yunnan province with the NIR technology and the spectrum determination of drought degree of K326-growing soil inside greenhouse. Based on the period of vigorous growth and budding stage of flue-cured tobacco, three different soil types were treated with normal water, moderate drought and severe drought. The reflectance spectrum of soil with different soil types and different degrees of drought were collected and the drought degree of tobacco-growing soil analysis model of spectral distance discriminant, Bayes discriminant analysis model, Fisher discriminant analysis model and support vector machine (SVM) discriminant analysis model were established respectively. The results showed that the flue-cured tobacco soil drought degree spectrum discriminant analysis model established with the support vector machine (SVM) was better than the other three methods among which the correct rate of red soil drought degree modeling identification was 94.34%; the correct rate of test set identification was 88.46%; the correct rate of paddy soil drought degree modeling set identification was 90.00%, and the correct rate of the test set identification was 91.67%; the correct rate of purple soil drought degree modeling set identification was 100%, and the correct rate of the test set identification was 92.00%. Therefore, it is feasible to determine the drought degree of tobacco-growing soil by visible/near infrared spectroscopy technology. This study will provide a scientific basis for the irrigation index from the period of vigorous growth to bud stage and the important practical value for tobacco production.

Key words: flue-cured tobacco; soil; drought degree; reflectance spectra; support vector machine

土壤水分是植物水分的直接来源,植物吸收土壤 中的水分、有机质等营养物质进行生长,同时土壤干

收稿日期:2016-11-11

基金项目:中国烟草总公司云南省公司资助项目(2013YN17)。

作者简介:徐兴阳(1974—),男,云南盐津人,高级农艺师,硕士,主要从事烟草新品种、新技术、新方法应用及研究。

* 通讯作者:劳彩莲(1966—),女,浙江慈溪人,副教授,博士,主要从事作物光谱技术应用及研究, E-mail: laowan@cau.edu.cn.

旱程度又决定着植物的生长状况的好坏^[1]. 有研究^[2-3]发现,影响土壤光谱反射率的因素有很多,包括土壤含水量、土壤机械组成、土壤母质类型、铁氧化物以及有机质含量等. 土壤水分含量低,反射率相对较高;反之,水分含量高的土壤光谱反射率相对较低.

国内外研究者大部分都是应用光谱分析技术对土壤含水量做定量分析研究. Bowers 和 Hanks^[4]研究发现,通过测量不同水分的土壤反射光谱,反射光谱的主要吸收峰有 1 450,1 940,2 200 nm,并且认为 1 940 nm 是土壤水分的特征波长;王森等^[5]研究土壤含水量对有机质预测的影响,可为野外红壤有机质快速测定提供理论依据,他们在实验室条件下测量了不同含水量红壤的可见光—近红外光谱反射率,并运用偏最小二乘回归 (PLSR) 建立不同含水量的土壤有机质预测模型;宋韬等^[6]应用美国 ASD 公司的可见—近红外光谱仪获得了 52 份不同含水量土壤的可见—近红外漫反射光谱数据,并通过实验测定了各土壤样本的含水量值,运用相关系数法找出光谱对于土壤水分的敏感波段,然后利用单一敏感波段处的光谱数据建立了一元回归模型,并检测了土壤含水量;何挺等^[7]通过对分属于黄绵土、绵沙土、风沙土和水稻土的 129 个土样的实验室测试光谱数据和它们的土壤含水量建立起一个定量关系,探测与土壤水分含量最为敏感的光谱特征,为今后遥感数据的判读与解译提供物理依据.

根据昆明烟区常年 6 月份出现间隙性干旱的实际情况,在此期间大部分烟株正处于旺长期和现蕾期阶段,缺水则会严重影响烟株的生长及烟叶的正

常落黄成熟. 目前,应用光谱技术对土壤干旱度的判别分析鲜有研究. 为此,本研究拟利用光谱技术判别植烟土壤的干旱度,以期制订烟叶生产的关键时期制定科学的田间识别方法和灌溉措施.

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验设计

田间试验于 2015 年 6 月~7 月在昆明市烟草公司科技试验基地(位于云南省寻甸县)进行. 试验的土壤类型包括红壤、水稻土和紫色土(详见表 1),将土壤分别进行装盆处理,橡胶盆高 50 cm,底宽 40 cm,上口宽 55 cm,底部偏上 3 cm 处留有排水孔 4 个,最后将 3 种土壤水分统一调整至 20% (采用 ZDR-20T 型土壤温度湿度记录仪监测). 种植烤烟品种为 K326,统一在遮雨棚条件下开展试验.

从烤烟移栽至团棵期(栽后 35 d 内),按照当地优质烟生产管理方法进行,确保土壤有充足的水分,不缺水、不过量. 在种植烤烟的旺长至现蕾期阶段,对每种土壤类型设 3 个土壤干旱度处理,分别是 ZA, ZB 和 ZC. 具体安排如下.

ZA 组(正常水分):整个旺长期至现蕾期(栽后 35~55 d),每株浇水约 6.0 kg,分成早、晚 2 次浇入,每 5 d 进行 1 次.

ZB 组(中度干旱):整个旺长期至现蕾期(栽后 35~55 d),每株浇水约 3.0 kg,一次性浇入,每 5 d 进行 1 次.

ZC 组(重度干旱):整个旺长期至现蕾期(栽后 35~55 d),不浇水.

表 1 3 种类型土壤的养分检测结果

土壤类型	pH 值	有机质 /%	水解性氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有效锌/ (mg·kg ⁻¹)	有效锰/ (mg·kg ⁻¹)	交换性镁/ (mg·kg ⁻¹)	氧化铝 /%	氯离子/ (mg·kg ⁻¹)
红壤	6.32	3.18	103.36	59.51	576.88	12.84	41.19	200.77	1.80	5.61
紫色土	6.60	1.35	89.27	51.77	392.72	21.62	68.18	299.87	1.12	6.23
水稻土	7.18	2.81	103.36	62.39	462.40	15.04	39.65	535.81	1.24	5.61

观察不同处理烤烟的生物学性状表现,主要包括生育期、烟叶落黄成熟和中心花开放期的农艺性状等指标.

1.2 烤烟土壤光谱采集

从烤烟的旺长期至现蕾期进行土壤光谱测量. 测量周期定为每 5 d 进行 1 次,每次浇水前两天进行测量,但会根据天气变化作相应调整. 土壤光谱采

集所使用的光谱仪器为美国 ASD 公司 FieldSpec 3 便携式分光辐射光谱仪,仪器的波长范围为 350~2 500 nm,由于受仪器噪声影响,去除 350~450 nm 的光谱信息. 仪器配套使用的光谱分析软件为 ViewSpecPro 5.7.2,本文所用光谱建模分析软件为 MATLAB R 2014a.

在种植烤烟的橡胶盆里,去掉土壤表层至 5 cm

处,选择 3 个点,用光谱仪采集土壤光谱,把高强度接触式探头移动到土样上,镜头与土样直接接触,点击空格键存储采集到的土壤反射光谱.按下空格键后能够听到提示音.在一个点的土壤测量后需要重新进行 OPT 和白板校正.每个点测量 3 次,即 1 个土壤样本包含 9 条光谱,采集的 9 条光谱算术平均后作为该烤烟土壤样本的反射光谱.剔除变形异常光谱后,样品光谱包括红壤 79 条光谱(ZA 组 26 条、ZB 组 26 条、ZC 组 27 条),水稻土 74 条光谱(ZA 组 23 条、ZB 组 26 条、ZC 组 25 条),紫色土 77 条光谱(ZA 组 27 条、ZB 组 25 条、ZC 组 25 条).

1.3 烤烟土壤干旱度光谱判别方法

在光谱分析技术中只需要对样品类别或者质量等级进行判别区分,而不需要确定样品的生化信息时,需要应用光谱分析技术中的定性分析方法,又称为模式识别方法^[8],其主要应用于真伪鉴别、评定等级和划分类型.本研究对烤烟土壤干旱度的判别中,正是应用了光谱分析技术的定性分析方法.本文采用了距离判别法^[9]、Bayes 判别法^[10]、Fisher 判别法^[11]和支持向量机(SVM)^[12]建立烤烟土壤干旱度的光谱判别模型.

距离判别法的基本思想是根据已知分类的光谱数据来分别计算各类光谱数据的重心(各类的均值),判别的标准就是计算待测样品光谱到各类重心的距离,与哪个类别的距离近则被判为哪一类;Bayes 判别法是一种多元统计分析方法,据最小风险代价判决或最大似然比判决;Fisher 判别法的基本思想是使用投影的方法尽量使 k 个不同类别之间的样本点在低维空间中区

分开来,而类内尽量聚合在一起.具体做法是从样本光谱中抽取 p 个指标的观测数据,造判别函数 $y=c_1x_1+c_2x_2+\cdots+c_px_p$,其中 c_1,c_2,\cdots,c_p 确定的标准是使类间区别最大,类内区别最小.在建立判别模型后,当需要对待测样品进行判别时,只需将待测样品的 p 个指标带入判别模型求解,并与判别临界值比较即可;支持向量机(SVM)的基本思想是通过非线性内积变换将输入样本空间映射到高维特征空间中,通过高维特征空间中构造的最优分类平面将不同类别的两类样本分开,并且分类间隔要尽可能的大,其特点是可以很好地解决小样本、高维数、非线性等问题.

本研究在建立植烟土壤干旱度的光谱判别模型前,针对红壤、水稻土和紫色土 3 种土壤类型对烤烟土壤干旱度判别的影响进行探索,以此来确定是否需要分土壤类型建立烤烟土壤干旱度光谱判别模型.

2 结果与讨论

2.1 不同处理烤烟生物学性状表现

从表 2 和表 3 看出,不同的干旱处理对烤烟主要生物学性状的影响很大.1)生育期方面.随着土壤干旱度增加,现蕾期的时间有推迟趋势,现蕾至中心花开放期所经历的时间会明显延长.2)从烤烟落黄成熟来看,水分正常的处理可以实现烟株正常落黄成熟,其余两个处理均不能实现烟叶正常落黄成熟.3)从株高、叶数等指标来看,仅正常水分处理能够实现优质烟的长相水平,中度干旱处理的农艺性状表现一般,重度干旱的处理表现很差.

表 2 不同处理烤烟生育期及成熟特性表现

土壤类型	处理	移栽期	团棵期	旺长期	现蕾期	中心花开放期	成熟特性
红壤	ZA	5 月 1 日	5 月 30 日	6 月 7 日	6 月 22 日	6 月 26 日	分层落黄
	ZB	5 月 1 日	5 月 30 日	6 月 7 日	6 月 23 日	6 月 29 日	假熟
	ZC	5 月 1 日	5 月 30 日	6 月 7 日	6 月 25 日	7 月 2 日	假熟
水稻土	ZA	5 月 1 日	5 月 27 日	6 月 3 日	6 月 20 日	6 月 24 日	分层落黄
	ZB	5 月 1 日	5 月 27 日	6 月 3 日	6 月 20 日	6 月 27 日	假熟
	ZC	5 月 1 日	5 月 27 日	6 月 3 日	6 月 25 日	7 月 1 日	假熟
紫色土	ZA	5 月 1 日	5 月 27 日	6 月 3 日	6 月 20 日	6 月 25 日	分层落黄
	ZB	5 月 1 日	5 月 29 日	6 月 5 日	6 月 21 日	6 月 28 日	假熟
	ZC	5 月 1 日	5 月 27 日	6 月 3 日	6 月 23 日	7 月 3 日	假熟

表 3 不同处理烤烟农艺性状表现

土壤类型	处理	自然株高/cm	自然叶数/片	茎围/cm	最大腰叶/cm		最大叶面积系数
					叶长	叶宽	
紫色土	ZA	140.5	23.5	8.5	70.5	28.0	2.96
	ZB	129.0	21.0	8.6	67.9	26.7	2.30
	ZC	120.0	20.1	8.4	63.5	24.2	1.75

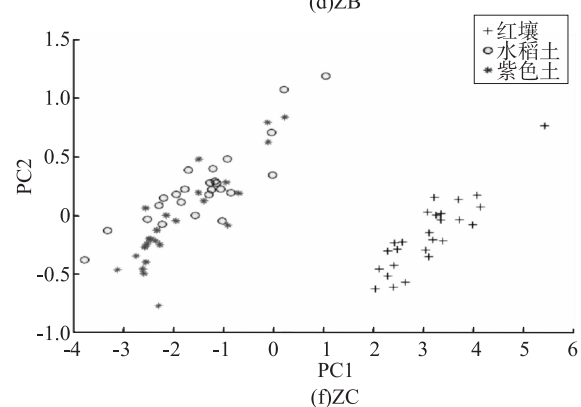
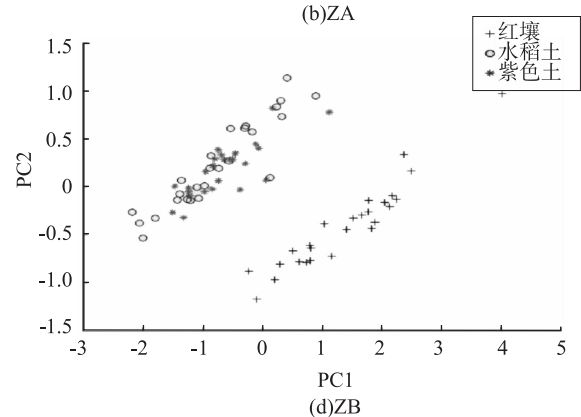
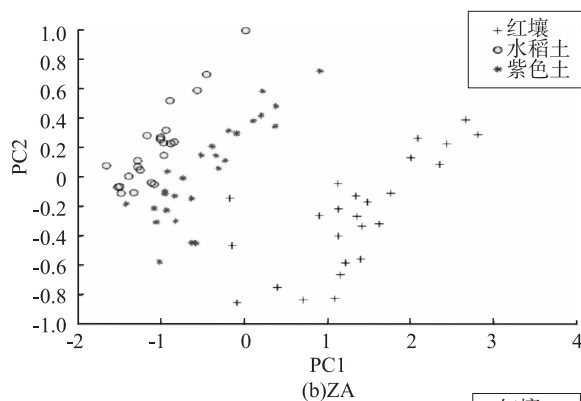
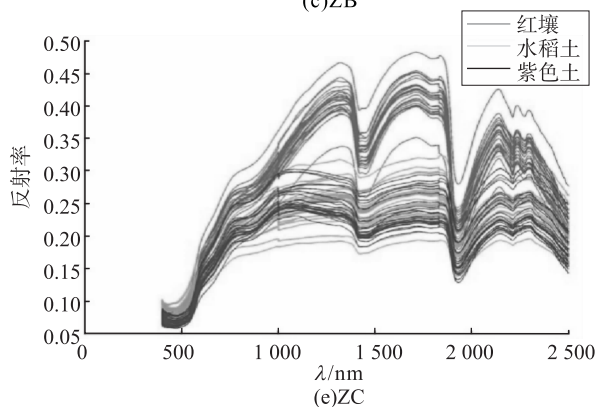
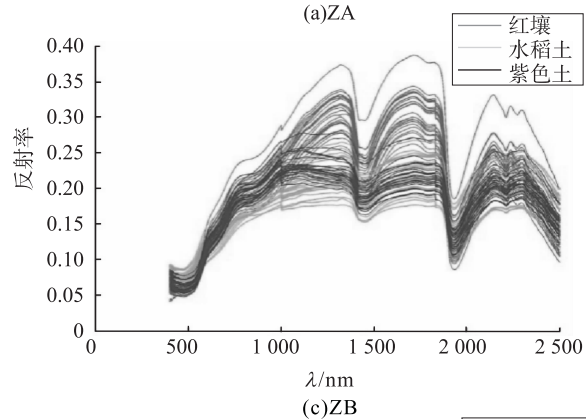
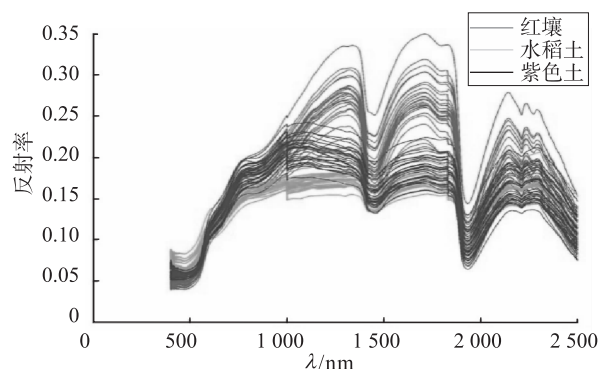
续表 3

土壤类型	处理	自然株高/cm	自然叶数/片	茎围/cm	最大腰叶/cm		最大叶面积系数
					叶长	叶宽	
水稻土	ZA	146.5	24.0	8.6	72.5	28.4	2.76
	ZB	128.0	23.1	8.4	68.5	26.0	2.05
	ZC	120.0	19.3	8.0	64.5	24.5	1.66
红壤	ZA	135.5	24.0	8.3	69.5	27.6	2.65
	ZB	115.8	22.0	8.0	65.5	24.5	2.01
	ZC	109.5	16.0	7.8	63.5	24.5	1.62

2.2 土壤类型对烤烟土壤干旱度的影响

研究包括红壤、水稻土、紫色土 3 种不同土壤类型. 图 1 左图分别为正常处理 3 种不同土壤反射光谱、中度干旱 3 种不同土壤反射光谱、重度干旱 3 种不同土壤反射光谱. 在 450 ~ 1 100 nm 波段内, 由于是 3 种土壤类型, 所以可以看出在这一波段内有差异, 但不是很明显; 在 1 100 ~ 2 500 nm 土壤

光谱的反射率受土壤中水分的影响较大, 而土壤的机械组成也会间接影响土壤的持水能力, 红壤的光谱反射率与其他两种土壤光谱差异较大, 呈现出斜率剧增、曲线较陡等特征, 反射率要明显大于水稻土和紫色土, 从表 1 数据分析其原因不难发现, 供试红壤质地偏粘重、pH 值偏酸性, 速效钾、有机质和土壤氧化铝含量较高.



1. ZA:正常; 2. ZB:中度干旱; 3. ZC:重度干旱.

图1 烤烟不同土壤类型反射光谱及主成分得分图

利用 MATLAB 对 3 种土壤的光谱进行主成分分析,查看样本的空间分布情况,观察不同土壤光谱的第一、第二维主成分空间分布.图 1 右图分别对应正常、中度干旱、重度干旱 3 种土壤光谱的第一、第二维主成分空间分布,主成分贡献率都达到 90% 以上,可以较好地表达光谱信息.从 3 种不同土壤的第一、第二维主成分空间分布图可以看出,红壤反射光谱很明显地聚为一类.而水稻土和紫色土反射光谱第一、第二维主成分空间分布有重合的部分,这与图 1 中 3 种不同土壤类型对的反射光谱表现一致.

由于 3 种土壤类型光谱差异较大,因此,对于不同类型的烤烟土壤光谱进行干旱度判别时需要分土壤类型建立烤烟干旱度光谱判别模型

2.3 烤烟土壤不同干旱度的反射光谱

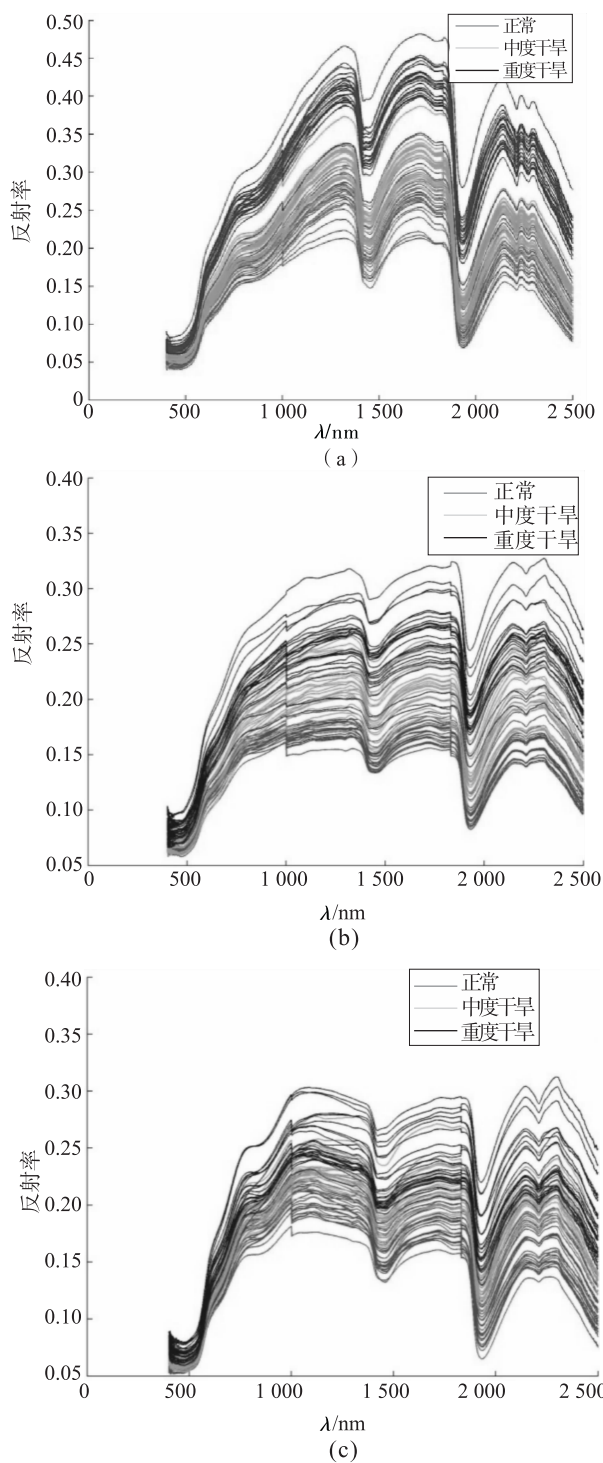
图 2 所示为烤烟土壤不同干旱度的反射光谱,烤烟土壤干旱度分为正常(ZA 处理)、中度干旱(ZB 处理)、重度干旱(ZC 处理).依据 2.1,研究分 3 种土壤进行分析,由于是同一土壤类型,并且前期处理都一致,所以土壤的反射光谱只与土壤水分含量有关,影响土壤含水量的多少除了与浇水量有关外,还与烤烟根系有关,即烤烟的水分吸收.本试验研究的目的是建立烤烟土壤水分与光谱的对应关系.

从反射光谱的初步分析可以看出,在近红外波段 780~2 500 nm,3 种水分处理区分较为明显,特别是在 1 450 nm 和 1 940 nm 左右的水的吸收峰波段,并且土壤干旱程度越大,光谱反射率越大.所以建立烤烟土壤水分与光谱的对应关系,从而建立红壤、水稻土、紫色土等土壤干旱度的光谱判别分析模型是可行的.

2.4 烤烟土壤干旱度光谱判别分析模型的建立

烤烟的土壤光谱经 10 点卷积平滑预处理,建模样本为正常水分处理、中度干旱处理、重度干旱处理的烤烟土壤反射光谱,分红壤、水稻土、紫色土 3 种土壤类型分别建立模型,以 2:1 比例随机划分建模集和检验集,分别用距离判别法、Bayes 判别法、Fisher 判别法和支持向量机(SVM)建立烤烟土壤干旱度光谱判别分析模型.

表 4 至表 7 分别为距离判别法、Bayes 判别法、Fisher 判别法和支持向量机(SVM)建立的烤烟土壤干旱度光谱判别分析模型的结果.从表中结果可知,从模型的效果来看,无论是建模集判别正确率,还是检验集判别正确率,以支持向量机(SVM)模型的建模效果为最好.



1. (a)红壤; 2.(b)水稻土; 3.(c)紫色土.

图2 烤烟土壤不同干旱度的反射光谱

建立植烟土壤正常水分、中度干旱、重度干旱支持向量机光谱判别模型,红壤干旱度建模集判别正确率 94.34%,检验集判别正确率 88.46%;水稻土干旱度建模集判别正确率 90.00%,检验集判别正确率 91.67%;紫色土干旱度建模集判别正确率 100%,检验集判别正确率 92.00%.

表 4 距离判别法模型结果

土壤类型	建模集个数	检验集个数	建模集判别正确率	检验集判别正确率
红壤	53	26	79.30% (42/53)	92.31% (24/26)
水稻土	50	24	86.15% (43/50)	83.33% (20/24)
紫色土	52	25	72.45% (38/52)	84.00% (21/25)

表 5 Bayes 判别法模型结果

土壤类型	建模集个数	检验集个数	建模集判别正确率	检验集判别正确率
红壤	53	26	75.47% (40/53)	84.62% (22/26)
水稻土	50	24	74.00% (37/50)	91.67% (22/24)
紫色土	52	25	63.46% (33/52)	68.00% (16/24)

表 6 Fisher 判别法模型结果

土壤类型	建模集个数	检验集个数	建模集判别正确率	检验集判别正确率
红壤	53	25	75.47% (40/53)	96.15% (24/25)
水稻土	50	24	78.00% (39/50)	83.33% (20/24)
紫色土	52	25	73.08% (38/52)	76.00% (19/25)

表 7 支持向量机 (SVM) 模型结果

土壤类型	建模集个数	检验集个数	建模集判别正确率	检验集判别正确率
红壤	53	26	94.34% (50/53)	88.46% (23/26)
水稻土	50	24	90.00% (45/50)	91.67% (22/24)
紫色土	52	25	100.00% (52/52)	92.00% (23/25)

3 小结与讨论

本研究以来自云南省寻甸县的红壤、水稻土和紫色土为研究对象,分别建立了烤烟土壤干旱度光谱距离判别分析模型、Bayes 判别分析模型、Fisher 判别分析模型和支持向量机 (SVM) 判别分析模型。

研究表明:1)采用支持向量机 (SVM) 建立的烤烟土壤干旱度光谱判别分析模型的效果要优于其他 3 种方法,并且烤烟土壤干旱度光谱判别模型检验集的正确识别率都达到了 88% 以上。2)针对红壤、水稻土和紫色土 3 种不同的植烟土壤类型,利用可见一近红外光谱技术对烤烟土壤干旱度进行判别,需要采用不同的光谱判别模型,这样更能准确地反

映土壤的真实含水状况。

本研究为快速判断烟田土壤干旱程度提供了新的方法,为利用光谱技术制订烟叶生产旺长期至现蕾期的灌溉指标提供科学的参考依据,对采用先进手段识别植烟土壤干旱度进行判别分析有着现实的重要意义。

(本论文研究的科技计划项目结题时,鉴定委员会鉴定意见:“该项目在田间鲜烟叶成熟度及土壤干旱度的光谱判别方法构建方面有一定创新,项目整体研究达到了国内同类研究领先水平”。)

[参考文献]

- [1] 章树安,章雨乾. 土壤水分监测技术方法应用比较研究[J]. 水文,2013,33(2):25-28.
- [2] 黄应丰,刘腾辉. 土壤光谱反射特性与土壤属性的关系:以南方主要土壤为例[J]. 土壤通报,1989(4):158-160.
- [3] 苏艺,杨磊,林清火,等. 海南橡胶园砖红壤光谱反射特征分析[J]. 南方农业学报,2015(3):385-390.
- [4] BOWERS S A, HANKS R J. Reflection of radiant energy from soils[J]. Soil Science, 1965, 100(2):130-138.
- [5] 王森,潘贤章,解宪丽,等. 土壤含水量对反射光谱法预测红壤土壤有机质的影响研究[J]. 土壤,2012(4):645-651.
- [6] 宋韬,鲍一丹,何勇. 利用光谱数据快速检测土壤含水量的方法研究[J]. 光谱学与光谱分析,2009(3):675-677.
- [7] 何挺,王静,程烨,等. 土壤水分光谱特征研究[J]. 土壤学报,2006(6):1027-1032.
- [8] 韦锐. 近红外光谱分析技术定性部分的实现[J]. 石油仪器,2001,5(4):27-29.
- [9] 程权,杨方,王丹红,等. 近红外光谱技术对闽南乌龙茶品种的识别研究[J]. 光谱学与光谱分析,2014(3):656-659.
- [10] LI Ao, XUE Yu, JIN Changjiang, et al. Prediction of Nepsilon-acetylation on internal lysines implemented in bayesian discriminant method[J]. Biochemical & Biophysical Research Communications, 2006, 350(4):818-824.
- [11] RICCIA G D, SHAPIRO A. Fisher discriminant analysis and factor analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983, 5(1):99-104.
- [12] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory [M]. 2nd ed. New York:Springer, 2000.