

模拟酸雨对水稻叶片反射光谱特性影响的初步研究*

李德成 徐彬彬 石晓日

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

张崇静 吴 荣

(中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230031)

摘 要 本文研究了模拟酸雨对水稻叶片反射光谱特性的影响。结果表明:模拟酸雨会引起水稻叶片反射光谱的可见光区和中红外区的反射率升高,近红外区的反射率降低,相应的反射率比值也随之变化,一阶和二阶微分光谱蓝移,且上述变化的程度与酸雨的酸度、水稻的品种和生育期有关。这一结果也表明遥感技术监测酸雨污染作物是可行的。

关键词 模拟酸雨,反射光谱,水稻

1 前 言

近些年来,酸雨($\text{pH} \leq 5.6$)对植物危害的严重性已引起国内外广泛和高度的重视。现有的研究结果已经表明:当酸雨的酸度达到一定的阈值后,将破坏植物叶片的微结构,降低叶绿素含量和光合效率,叶面出现可见伤害症状,阻碍生长发育,甚至导致作物的减产等^[1-4]。水稻是我国南方首要的粮食作物,而我国南方又是酸雨影响最为严重的地区之一^[5]。郭世忠和田国良等分别报道了二氧化硫以及铜镉污染对水稻反射特性的影响^[6-7],曹洪法等研究了模拟酸雨对水稻的叶面积、叶绿素含量及组成、产量等指标的影响^[8],国外也有酸雨对树木反射光谱特性影响的报道^[9]。然而迄今,国内外有关酸雨对作物反射光谱特性影响的报道甚少。本文则通过介绍模拟酸雨对水稻叶片反射光谱特性的影响,以探讨遥感技术监测酸雨污染作物的应用前景。

2 试验方法

2.1 试验材料

选择两个水稻品种(矮秆 814 和高秆 603),在标准温室中以盆栽土培方式进行,每盆

* 国家自然科学基金资助项目“酸雨对植物危害的双光谱特征研究”课题。批准号:49171049。

装水稻土 15kg, 1993 年 5 月 23 日插秧(插秧前施足基肥), 每盆 6 穴, 每穴 3 株, 生长期酌情灌溉和补肥。

2.2 模拟酸雨配置和喷洒

采用华筠等人的模拟酸雨配置方法^[10]。本研究仅设置了 3 个酸度差异较大的模拟酸雨处理: pH5.6 (对照)、pH3.5 和 2.0, 这主要是考虑到两个方面的原因: 一是通过对收集到的水稻有关研究结果分析后发现水稻是抗逆性强的作物, 低等级的污染, 如重金属污染对其反射光谱, 酸雨污染对其叶片面积、叶绿素含量、产量等性状的影响均不明显^[6-9]; 二是我们曾试做了“模拟酸雨浸泡水稻”的简单试验(在塑料大桶中进行, 1—72 小时), 5 个不同酸度的处理 pH 分别为 5.6, 4.5, 4.0, 3.5, 3.0 和 2.0, 结果发现仅 pH < 3.0 的处理才能对水稻叶片的反射光谱产生较为明显的影响, 这也表明水稻是抗逆性较强的作物。但考虑到水稻是单子叶作物的代表, 又是受酸雨污染较为严重的我国南方的主要作物, 在此方面做一定的初步研究还是具有一定的意义的。基于上述原因, 为了能够大致掌握模拟酸雨对水稻反射光谱的影响趋势, 故本次试验仅设了 3 个 pH 等级差异较大的处理(可认为 pH5.6 处理为正常处理, pH3.5 处理为中酸度处理, pH2.0 处理为强酸度处理)。每个处理重复 2 盆。在插秧 14 天后, 开始用可调式喷雾器对水稻植株均匀喷洒模拟酸雨: 每 3 天 1 次, 每次上午 8:30 进行, 每盆 250ml。

2.3 测试项目和仪器

在每次喷洒模拟酸雨后的次日上午, 观察记录水稻植株的反应症状, 并分别于 7 月 8 日(分蘖期)和 7 月 28 日(拔节期), 用尺量测叶片的叶长和叶宽(每盆 6 次), 用 POA-1 型叶绿素速测仪测定叶片的叶绿素含量(每盆 3 次)^[11], 用日立 U-3410 型分光光度仪测试叶片的反射、一阶和二阶微分光谱(每盆 2 次)^[12]。

3 结果分析和讨论

3.1 可见症状

据观察, pH2.0 处理的两个品种的叶片, 在喷洒模拟酸雨后, 叶面上会出现较多的白色小斑点, 而 pH3.5 和 pH5.6 两个处理则未出现上述现象, 且白斑出现的程度有新叶敏感于老叶、分蘖期敏感于拔节期的趋势^[18]。

3.2 叶长、叶宽和叶绿素含量

在分蘖期, 两个品种水稻叶片的叶长、叶宽和叶绿素含量与酸雨酸度的变化趋势一致(表 1)。由表 1 可见: 与对照 pH5.6 处理相比, pH3.5 和 pH2.0 两个处理均引起叶长、叶宽和叶绿素含量有所降低。就减少的幅度而言, pH2.0 处理(1.43—41.37%, 平均 15.55%)明显大于 pH3.5 处理(0—7.55%, 平均 2.63%)。而在拔节期, 3 个处理之间的上述差异不如分蘖期明显。

表1 叶片的叶长、叶宽和叶绿素含量(高秆 / 分蘖期)

Table 1 Length width and chlorophyll content of pH-stressed rice leaves (in tillering stage)

pH	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	叶绿素含量 (mg / dm)
5.60	85.80	2.78	1.40
3.50	85.50	2.57	1.40
2.00	82.50	1.63	1.38

3.3 反射光谱特性的变化

图1为模拟酸雨处理下的水稻叶片的反射光谱, 这表明在谱型上仍然具有绿色植物叶片反射光谱的共同特征^[3]。本研究选择了其在特征波长为550, 680, 800, 1450, 1650, 1920和2210nm处反射率及其相应的反射率比值为800 / 550, 800 / 680, 1650 / 1450, 2210 / 1920作为比较分析对象。

表2为分蘖期和拔节期时各处理水稻叶片反射光谱特征波长处的反射率均值及标准差。

分蘖期 与pH5.6处理相比, pH3.5和pH2.0两个处理基本上均引起550, 680, 1450, 1650, 1920和2210nm处的反射率升高, 而800nm处的反射率降低。由反射率总的变化幅度可知: pH2.0处理(平均为38.60%)明显高于pH3.5处理(平均为5.33%); 矮秆品种(平均为23.74%)略高于高秆品种(平均为20.18%); 680和1920nm处较大(平均为58.88%和51.09%), 1450和2210nm处次之(平均为17.15%和10.44%), 550, 1650和800nm处再次之(平均为7.53%, 5.11%和3.54%)。

反射率差异 *t* 检验结果表明: pH2.0处理与pH5.6和pH3.5两个处理之间的差异多已达到显著水准(*t*平均为7.34和6.09), 而pH3.5处理与pH5.6处理之间的差异则多未达到显著水准(*t*平均为2.27)。各特征波长处的反射率与pH导数之间有一定的相关性: 矮秆品种略高于高秆品种, 相关系数分别为0.811和0.622, 680和1920nm处相关性较大(相关系数 >0.900), 其它波长处较小(相关系数 <0.900)。

拔节期 由于拔节期时各处理的反射率的差异, 同分蘖期时相似, 主要表现在pH2.0和pH5.6两个处理之间, 而pH3.5和pH5.6两个处理之间的差异较小且规律性不明显, 因此这里主要比较pH2.0和pH5.6两个处理之间的反射率差异, 与pH5.6处理相比, pH2.0处理引起550, 680, 1450, 1920和2210nm处反射率升高, 800和1650nm处的反射率降低。由反射率总的变化幅度可知: 矮秆品种(平均为6.54%)略高于高秆品

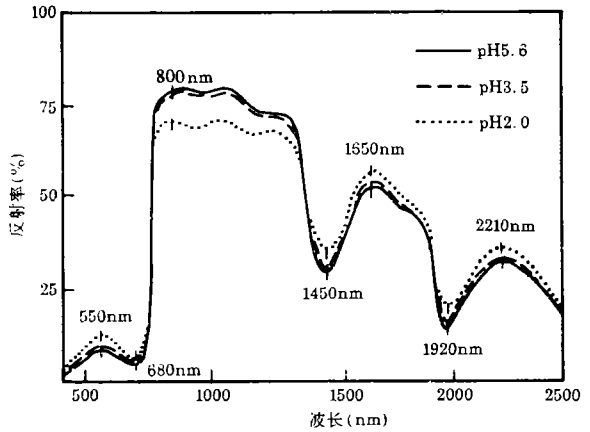


图1 酸雨处理下水稻叶片的反射光谱
Fig.1 Reflectance spectra of pH-stressed rice leaves

表 2 叶片的反射率(%)及标准差

Table 2 Reflectance (%) and its deviation of pH-stressed rice leaves

波长 (nm)		pH5.6		pH3.5	pH2.0	
		A	B	A	A	B
550	I	14.42 /1.2583	14.75 /0.4194	14.25 /0.6310	18.00 /1.3608	15.67 /1.3878
	II	16.00 /1.5330	17.00 /3.3665	16.33 /1.5858	16.33 /1.5870	17.42 /1.7507
680	I	4.00 /0.0011	4.08 /0.1667	4.25 /0.1667	8.25 /1.2285	5.17 /0.6400
	II	4.00 /0.4714	4.58 /0.5000	4.42 /0.3191	8.50 /0.3333	4.92 /0.3191
800	I	79.17 /2.9502	81.50 /1.1386	79.15 /0.8767	75.17 /1.2620	77.00 /1.3878
	II	81.00 /2.9095	75.00 /4.1231	79.33 /5.1352	75.33 /3.0307	72.17 /9.3477
1450	I	22.67 /1.8856	25.00 /1.5486	24.00 /0.9428	29.42 /1.1667	25.25 /1.9245
	II	25.33 /0.9428	24.50 /1.5986	26.17 /1.9194	32.83 /0.6383	25.00 /2.0905
1650	I	50.50 /1.4782	52.00 /1.0887	51.83 /1.1386	55.50 /1.3744	50.67 /1.2172
	II	52.67 /1.4402	50.17 /2.0817	52.83 /2.3960	56.67 /1.7213	49.58 /4.7091
1920	I	5.50 /0.8393	6.75 /0.6872	7.00 /0.6667	10.67 /0.9428	7.33 /1.3333
	II	7.33 /0.0011	7.08 /0.3191	8.00 /0.5443	12.75 /0.4194	7.67 /0.8607
2210	I	28.50 /1.4782	28.08 /0.8767	28.83 /1.0001	33.67 /1.7638	28.83 /1.7213
	II	29.67 /2.0728	29.50 /1.3744	30.50 /1.9907	35.50 /1.3744	29.08 /2.3941

注: I 矮秆 II 高秆 A 分蘖期 B 拔节期 平均值 / 标准差

表 3 叶片反射率比值

Table 3 Reflectance ratio of pH-stressed rice leaves

反射率比值 (nm /nm)		pH5.6		pH3.5	pH2.0	
		A	B	A	A	B
800 /550	I	5.49	5.53	5.55	4.18	4.91
	II	5.06	4.41	4.86	4.61	4.14
800 /680	I	19.79	19.98	18.62	9.11	14.89
	II	20.25	16.38	17.95	8.66	14.67
1650 /1450	I	2.23	2.08	2.16	1.89	2.01
	II	2.08	2.04	2.02	1.73	1.98
2210 /1920	I	5.18	4.16	4.13	3.16	3.93
	II	4.05	4.13	3.81	2.78	3.79

种(平均为 3.45%); 1650, 680 和 1920nm 处较大(平均为 18.50%, 17.07% 和 8.46%), 800, 550, 2210 和 1450nm 处次之(平均为 4.64%, 4.36%, 2.36% 和 1.52%)。pH2.0 和 pH5.6 两个处理之间各波长处反射率差异的 t 检验结果表明: pH2.0 和 pH5.6 两个处理之间虽有差异, 但多未达到显著水准(t 平均为 1.24), 明显弱于分蘖期。

反射率比值更适于作为光谱分析和应用的指标^[13]。表 3 为分蘖期和拔节期时水稻叶

片反射光谱特征波长处的反射率平均比值。

分蘖期 与 pH5.6 处理相比, pH3.5 和 pH2.0 两个处理基本上均引起上述 4 个反射率比值降低。由反射率比值总的变化幅度可知: pH2.0 处理(平均为 30.80%)明显高于 pH3.5 处理(平均为 6.84%); 矮秆品种(平均为 20.34%)略高于高秆品种(平均为 17.31%); 800 / 680 和 2210 / 1920 较大(平均为 32.12% 和 24.19%), 而 1650 / 1450 和 800 / 550 较小(平均为 9.52% 和 9.45%)。反射率比值差异的 t 检验结果表明: pH2.0 处理与 pH5.6 和 pH3.5 两个处理之间的差异多已达到显著水准(t 平均为 6.99 和 6.01), 而 pH3.5 处理与 pH5.6 处理之间的差异则多未达到显著水准(t 平均为 0.81)。特征波长处的反射率比值与 pH 数之间有一定的相关性, 矮秆品种相关性略低于高秆品种, 相关系数为 0.881 和 0.944。

拔节期 同反射率一样, 这里主要比较 pH2.0 和 pH5.6 两个处理之间的差异。与 pH5.6 处理相比, pH3.5 和 pH2.0 两个处理基本上均引起上述 4 个反射率比值降低。由反射率比值总的变化幅度可知: 矮秆品种(平均为 11.40%)略高于高秆品种(平均为 6.37%); 800 / 680 较大(平均为 17.96%), 800 / 550、2210 / 1920 和 1650 / 1450 依次次之(平均为 8.67%、5.74% 和 3.16%)。

3.4 微分光谱蓝移

微分光谱主要用于研究“光谱移动”现象^[6,7]。本研究选择如图 2 所示的一阶和二阶微分光谱的 4 个特定的极大值或极小值所对应的波长位置的差异作为比较分析对象, 探讨 pH2.0 处理引起的“光谱移动”现象。结果表明: 与 pH5.6 处理相比, pH2.0 处理已经引起水稻叶片一阶和二阶微分光谱某些极大值和极小值所对应的波长位置发生了一定程度蓝移, 就蓝移程度而言, 矮秆品种(一阶微分光谱平均为 3.42nm, 二阶微分光谱平均为 3.22nm)略大于高秆品种(平均为 1.69nm 和 1.83nm); 分蘖期(平均为 3.81nm 和 3.21nm)略大于拔节期(一阶微分光谱平均为 1.30nm, 二阶微分光谱为 1.84nm), 但总的来看, 一阶微分光谱和二阶微分光谱的蓝移程度均较小。

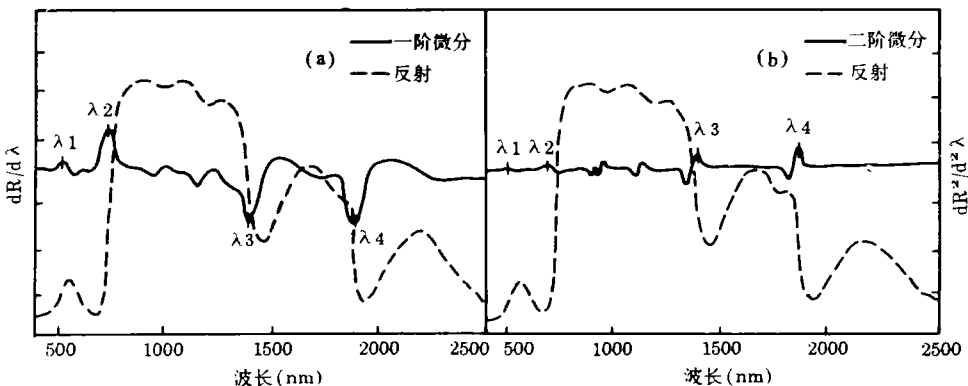


图 2 水稻叶片一阶(a)和二阶(b)微分光谱

Fig.2 First and second-derivative spectra of pH-stressed rice leaves

3.5 讨论

由上述分析比较结果可知: pH3.5 处理和 pH2.0 处理均会影响水稻叶片的反射光谱特性, pH3.5 处理的影响程度远弱于 pH2.0、分蘖期时的影响程度相对要大于拔节期, 矮秆品种影响程度相对要大于高秆品种。从机理上分析: 由于水稻具有较强的抗逆性^[6-8], 可以认为低酸度的酸雨对其反射光谱特性所产生的影响不大, 而高酸度的酸雨则会显著地制约其生长发育, 不仅会降低叶片的叶绿素含量, 从而导致其反射光谱可见光区(如 550 和 680nm)反射率升高, 而且还会抑制叶片细胞组织, 使其空气间隙、水分含量等发生一定变化, 从而导致其反射光谱近红外区(如 800nm)反射率降低, 而中红外区(如 1450、1650、1920 和 2210nm)反射率升高; 其次, 由于叶片自身发育程度和生理活动强弱的差异, 生育前期的水稻叶片的抗逆性相对弱于生育后期的叶片, 故酸雨对水稻叶片反射光谱特性的影响在分蘖期要相对强于拔节期; 再者, 由于不同品种水稻抗逆性的差异, 其光谱特性受酸雨影响的程度也必然有所差异。

4 结论

综上所述, 可以得出如下结论:

- (1) 酸雨会对水稻叶片反射光谱特性产生一定的影响, 表现在可见光区和中红外区反射率升高, 近红外区反射率降低, 一阶和二阶微分光谱发生蓝移等。
- (2) 水稻叶片反射光谱特性受影响的程度与酸雨的酸度、水稻的品种和生育期有关, 表现在酸雨的酸度越大、水稻品种的抗逆性越弱、生育期越早, 则影响程度越大。
- (3) 遥感监测酸雨污染作物在一定程度上是可行的。但应注意选择较为敏感的生育期进行, 监测波段 550, 680, 800, 1450, 1650, 1920 和 2210nm 等为较敏感的波长, 监测指标为特征波长处的反射率及其比值、微分光谱的蓝移程度等。

参 考 文 献

- [1] 张兴华等. 酸雨. 北京: 中国环境科学出版社, 1989, 113—138.
- [2] 赵远弛等. 模拟酸雨对小麦生长影响的试验研究. 中国环境科学, 1985, 5(6): 16.
- [3] 汪远谷等. 模拟酸雨对若干蔬菜影响的研究. 中国环境科学, 1987, 7(6): 1—5.
- [4] Lee, J. J., *et al.*, Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. *Environ. and Experim. Botany*, 1981, 2(2): 171—185.
- [5] 李洪玲. 我国酸雨的区域研究. 酸雨文集. 北京: 中国环境科学出版社, 1989, 208—216.
- [6] 郭世忠等. 二氧化硫和重金属铜、镉等物质对植物光谱特性的影响. 环境科学, 1986, 5(6): 13—18.
- [7] 田国良等. 土壤中镉、铜伤害对水稻光谱特性的影响. 环境遥感, 1990, 5(2): 140—149.
- [8] 曹洪法等. 模拟酸雨对农作物生长和产量影响的研究. 酸雨与农业. 北京: 中国林业出版社, 1989, 111—116.
- [9] Ashenden T. W., Williams. J. H., Differences in the spectral characteristics of birch canopies exposed to simulated acid rain. *New phytologist*, 1988, 109(1): 79—84.
- [10] 华筠, 王萍. 模拟酸雨对油菜、马铃薯、小青菜以及萝卜生长的试验研究. 酸雨与农业. 北京: 中国林业出版社, 1989, 126—129.
- [11] 李德成等. 不同养分供应状况对水稻荧光光谱特征的影响及其在遥感应用上的意义. 环境遥感, 7 增刊, 1992,

60—67.

[12] 荀毓龙主编. 遥感基础试验与应用. 北京: 中国科学技术出版社, 1991, 276.

[13] 陈述彭主编. 遥感大辞典. 北京: 科学出版社, 1990, 377.

作者简介

李德成, 男, 1965年3月出生, 1987至今在中国科学院南京土壤研究所地理室工作, 现为助理研究员。主要从事农业与土地资源遥感以及土地定级和估价等方面研究, 已发表论文5篇。

Influence of Simulated Acid Rain on Characteristics of Reflectance Spectra of Rice Leaves

Li Decheng Xu Binbin Shi Xiaori

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

Zhang Chongjing Wu Rong

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract The influences of simulated acid rain on the characteristics of reflectance spectra of rice leaves are described in this paper. The results show that acid rain could cause: increase of the reflectances in the visible and middle infrared waveband, decrease of the reflectances in the near infrared waveband, blue-shift of the first and second derivative spectra. There are relationships among the above changes and the pH-values of acid rain the varieties and growth stages of rice. These results have proved it is possible to monitor the pollution of acid rain on crops using remote sensing.

Key words Simulated acid rain, Reflectance spectra, Rice