

# 基于 CGMD302 光谱仪的甜玉米生长发育 指标监测研究

陈青春, 蒋 锋, 林 欢, 张姿丽, 刘鹏飞, 王晓明\*

(仲恺农业工程学院 作物研究所, 广东 广州 510225)

**摘要:** 为了明确甜玉米不同生育期生长发育指标与光谱仪冠层光谱参数的定量关系, 进而为甜玉米生长指标快速监测提供决策依据, 开展了正甜 68 不同施钾水平的田间试验, 于拔节期、大喇叭口期以及抽雄期利用 CGMD302 光谱仪采集玉米冠层光谱反射率, 并同步测定各处理茎粗、叶面积指数(LAI), 研究各光谱参数与生长指标之间的关系。结果表明, 归一化植被指数(NDVI)与茎粗和 LAI 呈正相关关系, 而比值植被指数(RVI)与茎粗和 LAI 呈负相关关系。经检验, 基于 NDVI 和 RVI 构建的单个时期监测模型可以有效地反演甜玉米茎粗和 LAI, 模型检验结果良好, 预测精度均在 0.9 以上, 均方根误差均小于 10%, 平均相对误差均小于 5%。

**关键词:** 甜玉米; 光谱参数; 茎粗; 叶面积指数; 钾; 模型

中图分类号: S143.1 S513 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2013)11-0031-06

## Growth Parameter Monitoring of Sweet Corn by CGMD302 Spectrometer

CHEN Qing-chun, JIANG Feng, LIN Huan, ZHANG Zi-li, LIU Peng-fei, WANG Xiao-ming\*

(Crops Research Institute, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

**Abstract:** In order to clarify the quantitative relationship between the growth parameters and canopy spectral index of sweet corn and provide the decision basis for rapidly monitoring the growth indicators of sweet corn, the field experiment of Zhengtian 68 was carried out, with different levels of K application. The spectral reflectance of corn canopy was measured by CGMD302 spectrometer at different growth stages, while the stem diameter and leaf area index(LAI) were measured at the same time, and then the relations between canopy spectral index and growth parameters were analyzed. The results showed that NDVI had positive correlation with stem diameter and LAI, while RVI had negative correlation with stem diameter and LAI. The monitoring model for a single stage was constructed based on NDVI and RVI, which could well reflect the stem diameter and LAI of sweet corn and give the good test result. The prediction accuracy was above 0.9, the error of mean square root was less than 10%, and the average relative error was less than 5%.

**Key words:** sweet corn; spectral index; stem diameter; leaf area index; K; model

钾肥作为作物生长的必需元素之一, 能促进植株茎秆健壮, 增强植株抗寒能力, 改善果实品质, 提

高果实糖分和维生素 C 含量<sup>[1]</sup>。茎粗、叶面积指数(leaf area index, LAI)是甜玉米重要的生长指标, 与

收稿日期: 2013-05-22

基金项目: 广东省育苗工程项目(2012LYM\_0078); 广东省科技攻关项目(2012B020301006); 校级教育教学改革研究基金项目(G2120020)

作者简介: 陈青春(1983-), 男, 江苏连云港人, 讲师, 博士, 主要从事作物精确管理研究。E-mail: chenqingchun0414@163.com

\* 通讯作者: 王晓明(1956-), 男, 甘肃甘谷人, 教授, 主要从事作物高产栽培育种研究。E-mail: wxm1724@sina.com

甜玉米的产量、品质形成有着密切关系。大量研究表明,植物冠层光谱对 LAI 有很好的响应<sup>[2-19]</sup>。Thenkabail 等在定性研究描述农作物生物物理特征的光谱参数时得出,500~550 nm、650~700 nm 和 900~940 nm 的反射率能较好地解释 LAI 的变异<sup>[9]</sup>。王秀珍等研究指出,水稻 LAI 与群体光谱反射率在可见光波段和 740 nm 以后的近红外波段内有较好的相关关系,743.37 nm 处反射率的一阶微分光谱与 LAI 相关性最好<sup>[10]</sup>,并进一步研究提出,利用蓝边区一阶微分总和与红边区一阶微分总和的比值及归一化差值植被指数可以精确估算水稻 LAI<sup>[11]</sup>。薛利红等研究表明,利用近红外与绿光波段反射率比值(R810/R560)能较精确地预测水稻 LAI<sup>[12]</sup>。唐延林等对不同作物光谱特性进行了比较,提出棉花红边位置、红边幅值、红边峰值面积(680~760 nm)与 LAI 有显著相关关系,并且认为水稻 LAI 与垂直植被指数(PVI)和归一化植被指数(NDVI)有很好的相关性<sup>[13-15]</sup>。黄文江等研究指出,NDVI(800、670)和红谷位置可以实现对小麦 LAI 的较好监测<sup>[16]</sup>。总体来说,目前关于作物氮素光谱监测的研究较多,而磷钾等元素光谱监测研究相对较少,其中甜玉米钾素光谱监测研究尚未见报道。针对此问题,开展鲜食甜玉米钾素光谱监测研究,通过进行不同钾肥水平的田间试验,明确甜玉米主要生长指标与光谱参数的关系,构建甜玉米生长指标监测模型,以期实现茎粗、LAI 等生长指标的快速监测,为甜玉米钾肥施用提供参考和依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验 1:试验于 2012 年 4—8 月在仲恺农业工程学院钟村农场进行,前茬为休闲田,试验地土壤质地为黏壤土,土壤中全氮含量为 1.16 g/kg,有机质含量为 19.1 g/kg,有效磷含量为 14.36 mg/kg,速效钾含量为 80.8 mg/kg。采用广东省主推品种正甜 68,共设 6 个钾肥水平(0、120、240、360、480、600 kg/hm<sup>2</sup>,分别标记为 K0、K1、K2、K3、K4、K5),试验采用随机区组设计,重复 3 次,共计 18 个小区。氮肥为尿素,总施用量为 600 kg/hm<sup>2</sup>,施用比例为基肥 22%、苗肥 10%、拔节肥 30%、攻苞肥 30%、粒肥 8%,前、中、后期比例为 32:60:8。钾肥为氯化钾(K<sub>2</sub>O 含量为 52%),施用比例与氮肥相同,另外过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 200 kg/hm<sup>2</sup>)作基肥一次性施

入。1 垄双行,垄宽 60 cm,株距为 30 cm,小区面积为 30 m<sup>2</sup>。4 月 15 日播种。其他管理同常规高产田。

试验 2:试验于 2012 年 9 月—2013 年 1 月在仲恺农业工程学院钟村农场进行,试验地土壤质地为黏壤土,土壤中全氮含量为 1.21 g/kg,有机质含量为 19.8 g/kg,有效磷含量为 14.06 mg/kg,速效钾含量为 82.8 mg/kg。采用广东省主推品种正甜 68,共设 4 个钾肥水平(0、150、300、450 kg/hm<sup>2</sup>),试验设计及施肥方案与试验 1 相同。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 生长指标 于玉米出苗后使用游标卡尺定株定期(其中 5 月 14—20 日为拔节期,5 月 23 日—6 月 2 日为大喇叭口期,之后为抽雄期)测量甜玉米茎粗(地上部最粗节间处),同时使用 LAI-2000 测定植株 LAI。每小区选取代表性植株 5 株,取平均值计数。

1.2.2 光谱数据 采用便携式光谱仪 CGMD302,于拔节期、大喇叭口期、抽雄期的晴朗天气 10:00—14:00,探头垂直向下,距离冠层 0.5 m 测定甜玉米冠层光谱反射率,计算光谱参数。CGMD302 为两波段被动光谱仪,波段分别为 810 nm 和 720 nm,由国家信息农业工程技术中心研制。

### 1.3 数据分析

于 Excel 软件中进行数据分析、绘图。采用决定系数( $S-R^2$ )、均方根误差(RMSE)、平均相对误差(RE)以及预测精度( $P-R^2$ ,即实测值和模型估算值之间的决定系数)等指标综合评价模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同钾肥水平下甜玉米生长参数变化

图 1 表明,随着施钾量增加和生育进程的推进,茎粗和 LAI 均相应增加,茎粗于抽雄期(6 月 11—14 日)达到最高,LAI 在后期不同钾肥水平下存在一定的差异,其中 K0—K3 于 6 月 2 日达到最高,K4、K5 于 5 月 29 日达到最高。

### 2.2 不同钾肥水平下甜玉米冠层光谱参数变化

作物群体的大小,对植被指数影响很大,如图 2 所示,随着施钾水平的提高,甜玉米冠层 NDVI 值也随之增加,不同生育期趋势类似,其中 6 月 5 日由于抽雄后部分叶片枯黄以及雄穗影响,K5 水平下 NDVI 值稍有下降;比值植被指数(RVI)与 NDVI 值变化趋势相反。

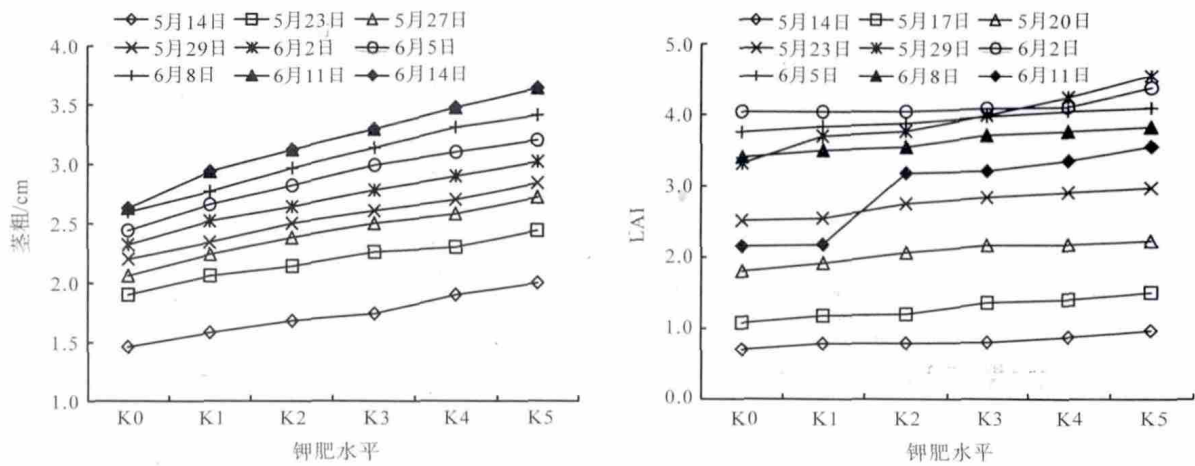


图 1 不同钾肥水平下甜玉米茎粗和 LAI 变化趋势

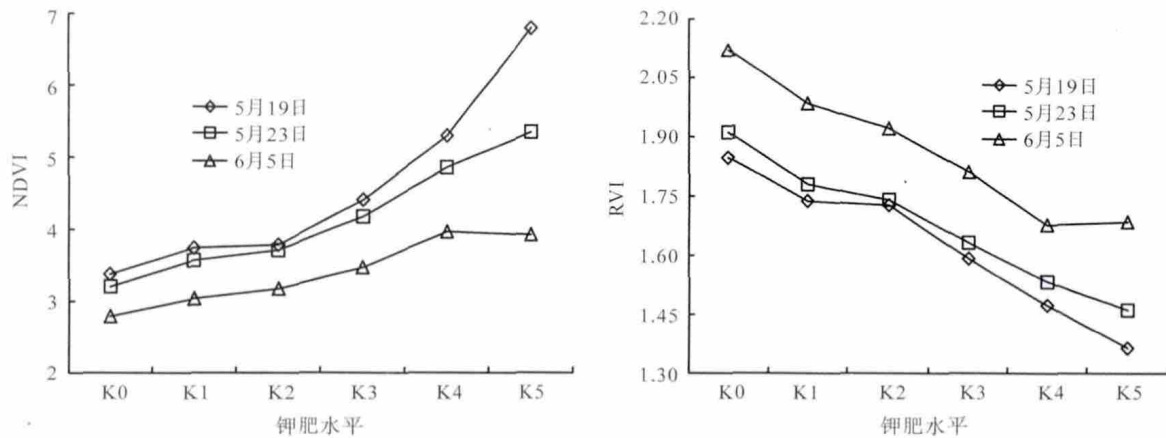


图 2 不同钾肥水平下甜玉米 NDVI 和 RVI 变化趋势

### 2.3 甜玉米生长参数与冠层光谱参数的相关性

图 3—5 表明,NDVI 和 RVI 与甜玉米茎粗和 LAI 具有良好的相关性,其中拔节期茎粗与 NDVI 和 RVI 的关系可用二次函数拟合,LAI 与 NDVI 可用二次函数拟合,与 RVI 可以用对数函数拟合;大喇叭口期茎粗和

LAI 与 NDVI 和 RVI 的关系均可用二次函数拟合;抽雄期茎粗与 NDVI 和 RVI 的关系可用二次函数拟合,LAI 与 NDVI 和 RVI 分别可用二次函数、幂函数拟合。结果表明,拟合模型决定系数均达到 0.90 以上,茎粗和 LAI 与 NDVI 呈显著正相关,与 RVI 呈显著负相关。

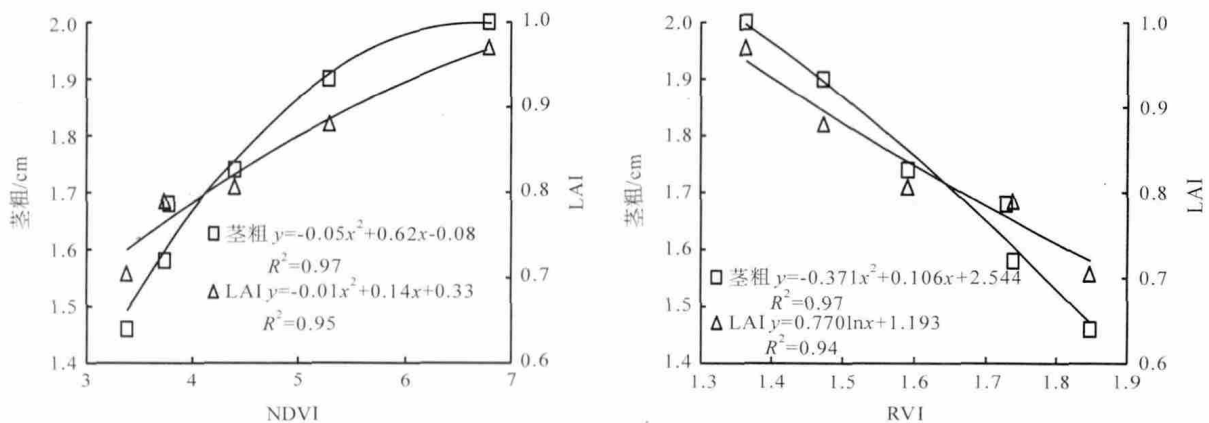


图 3 甜玉米拔节期 NDVI 和 RVI 与茎粗和 LAI 的关系

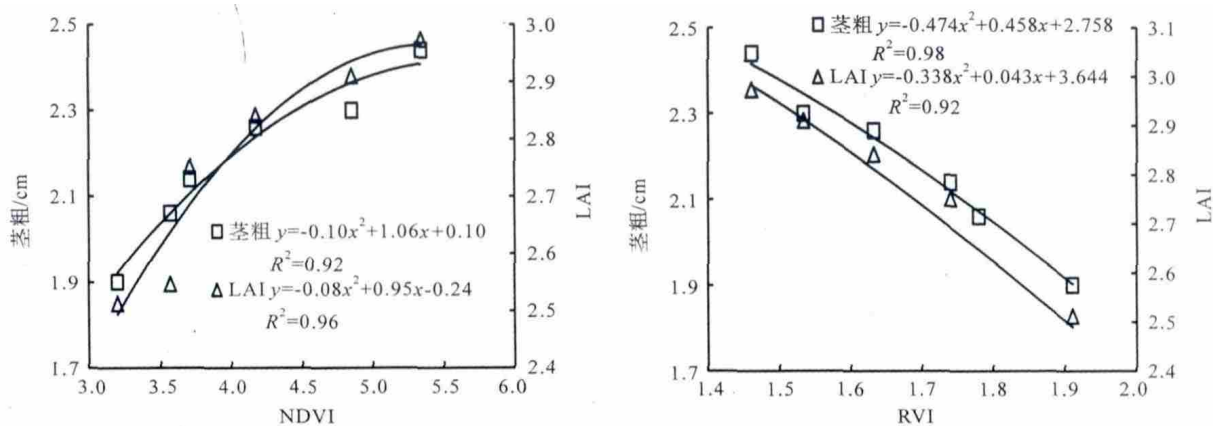


图 4 甜玉米喇叭口期 NDVI 和 RVI 与茎粗和 LAI 的关系

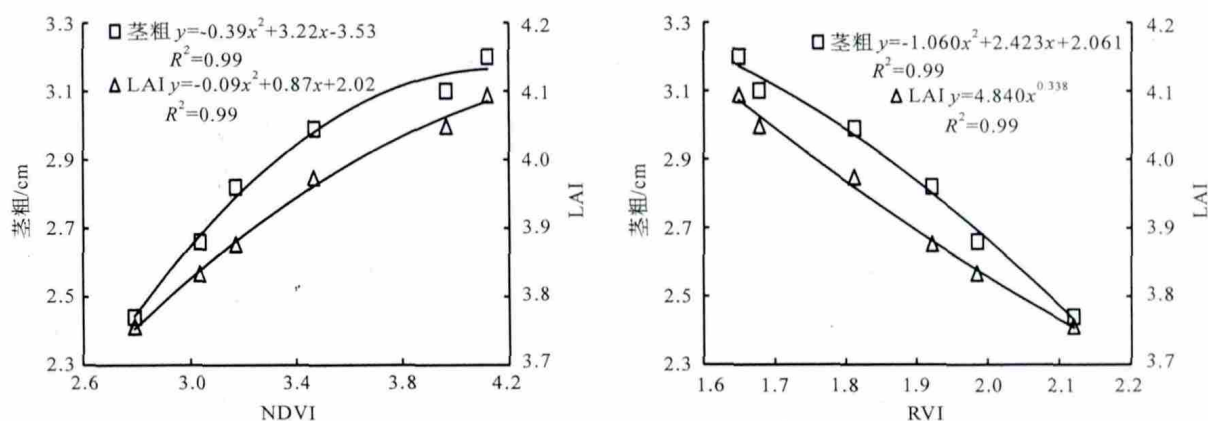


图 5 甜玉米抽雄期 NDVI 和 RVI 与茎粗和 LAI 的关系

## 2.4 模型检验

利用独立试验(试验 2)数据对所构建的模型进行检验,结果表明,所构建的模型能够有效地反演茎粗和 LAI,基于 NDVI 和 RVI 预测单独时期茎粗和

LAI 的精度均达到了 0.90 以上, RMSE 均小于 10%, RE 均小于 5%(表 1、表 2),以抽雄期为例茎粗实测值与预测值的比较见图 6。

表 1 甜玉米茎粗与冠层光谱参数的定量关系

生育时期	光谱参数	回归方程	$R^2$	预测精度	RMSE	RE
拔节期	NDVI	$y = -0.05x^2 + 0.62x - 0.08$	0.97	0.97	0.046	0.018
	RVI	$y = -0.371x^2 + 0.106x + 2.544$	0.97	0.99	0.018	0.008
大喇叭口期	NDVI	$y = -0.10x^2 + 1.06x + 0.10$	0.92	0.99	0.038	0.016
	RVI	$y = -0.474x^2 + 0.458x + 2.758$	0.98	0.99	0.027	0.008
抽雄期	NDVI	$y = -0.39x^2 + 3.22x - 3.53$	0.99	0.99	0.045	0.014
	RVI	$y = -1.060x^2 + 2.423x + 2.061$	0.99	0.99	0.026	0.006

表 2 甜玉米 LAI 与冠层光谱参数的定量关系

生育时期	光谱参数	回归方程	$R^2$	预测精度	RMSE	RE
拔节期	NDVI	$y = -0.01x^2 + 0.14x + 0.33$	0.95	0.96	0.051	0.028
	RVI	$y = 0.770\ln x + 1.193$	0.94	0.95	0.068	0.010
大喇叭口期	NDVI	$y = -0.08x^2 + 0.95x - 0.24$	0.96	0.98	0.032	0.018
	RVI	$y = -0.338x^2 + 0.043x + 3.644$	0.92	0.97	0.078	0.009
抽雄期	NDVI	$y = -0.09x^2 + 0.87x + 2.02$	0.99	0.99	0.057	0.036
	RVI	$y = 4.840x^{0.338}$	0.99	0.98	0.071	0.047

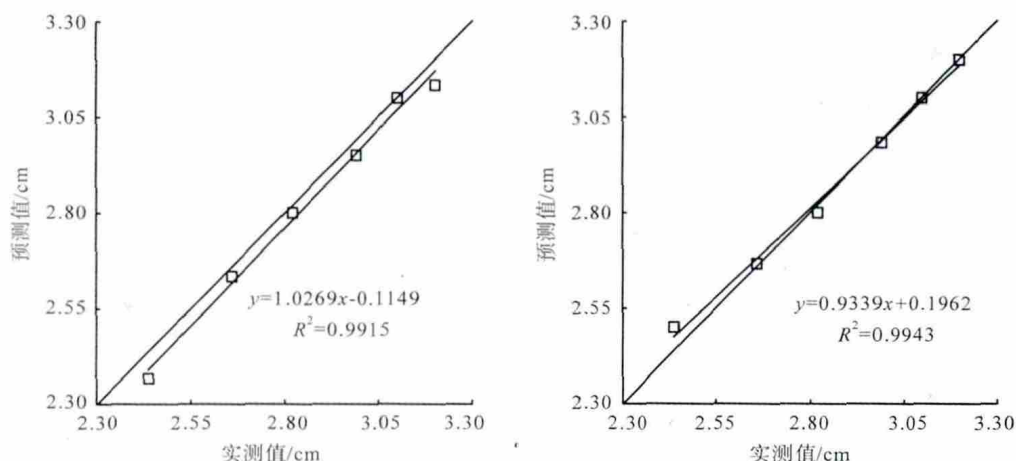


图 6 甜玉米抽雄期茎粗实测值与基于 NDVI(左图)和 RVI(右图)预测值的比较

### 3 结论与讨论

作物长势监测的目的是为了实时掌握作物生长状况,并及时发布苗情监测报告,以便合理地进行管理调控,并为作物产量预测提供理论依据和技术途径。植物冠层光谱信息反映了植株的群体信息,能有效地评价植株群体长势状况和营养亏缺。前人对植物生长参数光谱监测做了大量的工作<sup>[2-20]</sup>,提出了很多生长参数的敏感波段,其中国家信息农业工程技术中心基于多年的研究结果,筛选出 720 nm 和 810 nm 2 个波段,并基于这 2 个波段研制了便携式光谱仪,在一定程度上减少了对国外仪器的依赖,可更有针对性地对禾本科植物生长状况进行监测。

本试验基于不同钾素水平和不同生育时期条件下的连续 2 a 大田试验,系统分析了 CGMD302 光谱仪的 NDVI 和 RVI 与甜玉米生长参数的关系。结果表明,随着生育进程推进,茎粗逐渐增加,在抽雄期达到最高,而 LAI 先增加并于 6 月前开始逐渐降低,不同钾肥水平下 NDVI 和 RVI 值差异明显,NDVI 值与施钾水平呈正相关,RVI 与施钾水平呈负相关。进一步研究确定了光谱指数与甜玉米茎粗和 LAI 的定量关系,发现基于 CGMD302 的光谱指数(NDVI、RVI)可以有效地监测甜玉米茎粗和 LAI;基于 NDVI 和 RVI 构建的单个时期监测模型均可以有效地反演甜玉米茎粗和 LAI,模型检验结果良好,预测精度均达到 0.90 以上,均方根误差均小于 10%,平均相对误差均小于 5%。本研究结果对于甜玉米植株生长特征及群体长势的实时监测和精确诊断具有重要意义,为遥感技术在精准农业中的直接应用奠定了技术基础。由于受到天气及其他因素的限制,试验仅涉及一个生态点和有限的生育期,品种数量也相对较少,因此,模型的准确性和普适性仍需更多生态点资料进行检验。

### 参考文献:

- [1] 曹志洪. 科学施肥与我国粮食安全保障[J]. 土壤, 1998,30(2):57-63,69.
- [2] 田永超,杨杰,姚霞,等. 高光谱植被指数与水稻叶面积指数的定量关系[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1685-1690.
- [3] Bronson K F, Chua T T, Booker J D, et al. In-season nitrogen status sensing in irrigated cotton: II. Leaf nitrogen and biomass[J]. Soil Sci Soc Am J, 2003, 67(5):1439-1448.
- [4] Casanova D, Epema G F, Goudriaan J. Monitoring rice reflectance at field level for estimating biomass and LAI[J]. Field Crops Research, 1998, 55(1/2):83-92.
- [5] 陈德华,吴云康,段海,等. 棉花群体叶面积载荷量与产量关系及对源的调节效应研究[J]. 棉花学报, 1996, 8(2):109-112.
- [6] Lee K S, Cohen W B, Kennedy R E, et al. Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 91:508-520.
- [7] van der Meer F. Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 5:55-68.
- [8] Diker K, Bausch W C. Potential use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize[J]. Biosystems Engineering, 2003, 85:437-447.
- [9] Thenkabail P S, Smith R B, Pauw E D. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 71:158-182.
- [10] 王秀珍,黄敬峰,李云梅,等. 高光谱数据与水稻农学参数之间的相关分析[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2002, 28(3):283-288.

(下转第 101 页)



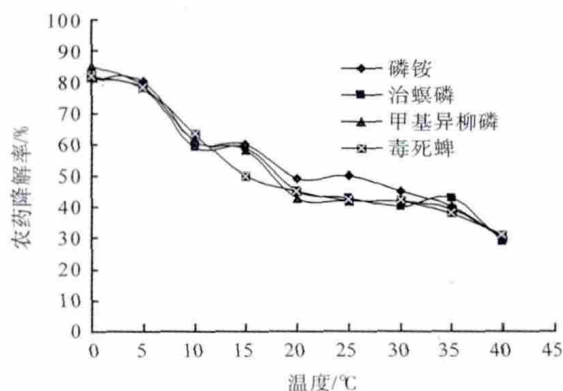


图 6 温度条件对有机磷农药降解率的影响

### 3 结论

本研究采用不同温度、不同质量浓度的臭氧水对采后马水桔果实处理不同时间,以降解采后马水桔果实中残留的有机磷农药。结果表明:采后马水桔果实中在温度为 0 °C、质量浓度为 5 mg/L 的臭氧水中浸泡处理 6 min,果实中所含有机磷农药的降解效果最好,处理后 30 d 磷铵、治螟磷、甲基异柳磷和毒死蜱的降解率分别为 81%、81%、85%、82%,可见马水桔果实中的农药残留大部分得到了降解清除。

#### 参考文献:

- [1] 李鹏,张子德,王琦,等. 次氯酸钙对氧化乐果农药残留降解的研究[J]. 食品工业科技,2006(4):86-88.
- [2] 吴永宁. 科学看待食品农药残留[J]. 中国社区医师,2002,18(11):23-26.
- [3] 孟玲,翁霞,刘长江. 利用植物酯酶快速检测有机磷农药残留的研究进展[J]. 农药,2006,45(5):306-308.
- [4] 夏静,姚自鸣,宋学芬,等. 果蔬保鲜延储中臭氧及负氧离子应用效果[J]. 北方园艺,1998(1):38-39.
- [5] Smilanick J L, Margosan D M, Mlikota Gabler F. Impact of ozonated water on the quality and shelf-life of fresh citrus fruit, stone fruit, and table grapes [J]. Ozone Science and Engineering,2002,24:343-356.
- [6] 杨绍艳,王文生,董成虎. 臭氧处理对磨盘柿采后生理生化变化的影响[J]. 华北农学报,2008,23(5):198-201.
- [7] 刘晓军,王群. 冬枣的湿冷保鲜技术研究[J]. 山西农业科学,2001,29(3):73-76.
- [8] Rip G Rice. Century 21 — Pregnant with ozone[J]. Ozone Science and Engineering,2002,24:1-15.
- [9] 方敏,沈月新,方竟,等. 臭氧水稳定性的研究[J]. 食品科学,2002,23(9):39-43.
- [10] 张桂祥,林修光. 臭氧水稳定性与杀菌性的试验观察[J]. 现代预防医学,2007,34(9):1772-1773.
- [11] 沈晓婉. 色谱法在食品分析中的应用[M]. 北京:北京大学出版社,1992:95-96.
- [12] 马建强,甘春芳,封剑飞. 气相色谱-火焰光度检测法测定蔬菜甲胺磷残留量[J]. 广西师范学院学报,2001,18(2):18-20.
- [11] 王秀珍,黄敬峰,李云梅,等. 水稻叶面积指数的高光谱遥感估算模型[J]. 遥感学报,2004,28(1):47-52.
- [12] 薛利红,曹卫星,罗卫红,等. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究[J]. 植物生态学报,2004,28(1):47-52.
- [13] 唐延林,黄敬峰,王秀珍,等. 水稻、玉米、棉花的高光谱及其红边特征比较[J]. 中国农业科学,2004,37(1):29-35.
- [14] 唐延林,王秀珍,王珂. 利用光谱法测定水稻生物物理参数及其与光谱变量的相关性研究[J]. 贵州大学学报:农业与生物科学版,2002,21:327-331.
- [15] 唐延林,王人潮,王秀珍,等. 水稻叶面积指数和叶片生化成分的光谱法研究[J]. 华南农业大学学报:自然科学版,2003,24(1):4-7.
- [16] 黄文江,王纪华,刘良云,等. 冬小麦红边参数变化规律及其营养诊断[J]. 遥感技术与应用,2003(18):206-211.
- [17] Zhu Y, Yao X, Tian Y, et al. Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2008,10(1):1-10.
- [18] 吕雄杰,潘剑君,张佳宝,等. 水稻冠层光谱反射特征及其与叶面积指数关系研究[J]. 土壤,2004,19(1):24-29.
- [19] 薛利红,曹卫星,罗卫红,等. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究[J]. 植物生态学报,2004,28(1):47-52.
- [20] 李映雪,谢晓金,徐德福. 高光谱遥感技术在作物生长监测中的应用研究进展[J]. 麦类作物学报,2009,29(1):174-178.

(上接第 35 页)