

可见光波段不同氮处理生菜叶片光谱反射率与叶片全氮、叶绿素的相关性研究

刘燕婕, 李建设, 高艳明

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:以“美国大速生”生菜为试材,采用营养液水培试验方法,对不同氮浓度水平下的生菜叶片全氮含量和叶绿素与叶片光谱反射率的相关性进行分析,以研究高光谱技术应用于叶菜类蔬菜的营养监测的可行性。结果表明:光谱反射率数据呈单峰曲线状并且随叶片氮浓度增加而增大;在生菜的生长过程中叶片光谱反射率、叶绿素含量、全氮三者具有显著线性相关关系;叶绿素含量在光谱技术中能够指示叶片全氮量的多少,利用可见光区域叶片最大光谱反射率可以实现反演生菜叶片全氮含量和叶绿素含量。

关键词:生菜;叶片全氮;叶绿素;光谱反射率

中图分类号:S 636.206⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)22-0012-05

叶菜类蔬菜生产中氮素营养是重要的营养因素,蔬菜高产优质的管理措施之一就是合理适时的氮肥管理。因而为达到在农业生产中合理施肥的目的,及时了解作物的营养状况是关键。传统的植物离体化学分析法已不能满足现在的作物高效生产管理需求,光谱技术简便、快速、精度高并且可以无损测定,成为监测作物生长和营养的重要手段之一^[1],高光谱技术是获取农田数据的精准农业技术体系中的重要手段。植物光谱监测在农业遥感技术中有着重要应用,尤其是在鉴别分类^[2]、作物长势监测和估产方面^[3-4]取得了一些研究成果。

在作物检测中高光谱技术具有很大潜力。氮素是作物生长和产量品质保障所必需的重要元素,实时监测评价植株的氮素营养,对于作物氮素营养的精确诊断和高效管理以及实现对作物产量和品质的预测具有十分重要的意义。

许多学者利用高光谱技术对各种作物的生物物理的化学参数做了大量的研究。植物叶片生化成分含量的变化在光谱维方向表现为吸收波形的变化,植物光谱可从实质上反映植物内部物质的吸收变化波形,因而通过植物的光谱特性可以监测植物的营养状况^[5]。THOMAS等^[6]早在1972年就发现了甜椒叶片含氮量

与550~675 nm光波段内的叶片反射系数高度相关,说明植物广谱分析可以较精准地监测植物氮素含量。WALBURG等^[7]的研究表明,近红外光波段光谱反射率与红光波段光谱反射率的比值相比于单一波段的光谱反射率能更好地区分不同玉米氮处理。MA等^[8]和OSBORNE等^[9]研究则表明,光谱反射率能够指明玉米叶片的氮营养的丰缺程度,预测氮含量的波段在红光和绿光波段,但具体波段随作物的生育期变化而不同。EVERITT等^[10]的研究发现,在杂草和花卉植物的叶片氮含量与500~750 nm反射率的相关性较高,并且提出用550~600 nm与800~900 nm反射率比值监测植株氮量。王人潮等^[11]、周启发等^[12]提出,水稻叶片光谱敏感波段760~900、630~660、530~560 nm可以用以诊断氮素营养水平。薛利红等^[13]的研究中660 nm和460 nm 2个波段反射率组成的植被指数可以反映出小麦叶片氮水平。王纪华等^[14]研究发现820~1 100 nm的光谱反射率和叶片含氮量呈极显著相关,1 150~1 300 nm的光谱反射率和叶片含氮量也呈显著相关。这些研究发现叶片含氮量的适宜的特征光谱反射率因作物不同、试验条件不同而有所不同。植物叶片氮含量与光谱参数的相关关系和定量关系有待更多的研究。

叶绿素是植物光合作用的主要化学物质,是植物和外界发生能量转化的重要条件。植物体内叶绿素含量可以反映出植物光合速率强弱、氮素胁迫程度和植株发育状况。所以,估测植物叶绿素含量可以有效评价植物长势。对高光谱技术的光谱反射率与叶绿素及其衍生物的光谱参数的关系,国内外学者进行了大量的研究。THOMAS等^[15-16]的2项研究表明叶绿素含量高低直接

第一作者简介:刘燕婕(1990-),女,硕士研究生,研究方向为蔬菜无土栽培与营养施肥。E-mail:hera7126@sina.com.

责任作者:高艳明(1963-),女,博士,教授,研究方向为蔬菜无土栽培与营养施肥。E-mail:13995086010@163.com.

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2014BAD05B02)。

收稿日期:2015-08-19

影响植物可见光波段光谱反射率,这是因为叶绿素吸收可见光中的红光和蓝紫光。王秀珍等^[17]的研究表明红边参数可以估算水稻冠层叶绿素含量。在研究粮食作物的叶绿素与光谱的关系中,较多应用“红边”参数和近红外光谱参数。吴长山等^[18]提出玉米群体的反射光谱数据能反映出叶片叶绿素密度的信息。程一松等^[19]发现养分胁迫下的夏玉米叶绿素浓度与叶片反射光谱率的一阶导数光谱数据有相关关系。以往的研究主要集中于经济作物,如玉米、水稻和大豆,蔬菜高光谱技术鲜有研究,并且试验研究对象和试验方法存在差异,研究结果有所不同。高光谱技术是否能够准确应用于蔬菜尚不明确。

该试验以“美国大速生”生菜为试验材料,设置不同氮浓度营养液对其进行培养获得田间数据,综合分析其叶片可见光波段光谱反射率与蔬菜叶片氮含量和叶绿素含量的关系,分析生菜叶片叶绿素含量和全氮含量的特征光谱波段与光谱参数,进而确定二者之间的定量关系,验证高光谱技术在叶菜类蔬菜上的应用潜力,旨在为建立生菜叶片氮素状况的无损检测技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试“美国大速生”生菜由济南新科种业开发有限公司提供。

1.2 试验方法

试验于2015年1—2月在宁夏大学农技实训基地进行。采用单因素完全随机设计,设定6个不同浓度营养液氮处理组,氮浓度分别为N1:0 mmol/L、N2:4 mmol/L、N3:8 mmol/L、N4:12 mmol/L、N5:16 mmol/L、N6:20 mmol/L,使之表现为缺氮、适量氮、过量氮、严重氮过量,每个处理组为一个水培栽培槽,每槽内定植9株生菜,共48株。

试验采用槽式水培,槽内盛营养液,营养液上漂浮泡沫板,泡沫板横纵向固定距离打孔定植幼苗,幼苗出苗10 d后定植于营养液中,用小海绵块作为固根材料。定时用气泵向水培营养液中注入空气,以防蔬菜根部缺氧。

1.3 项目测定

选取每个试验营养液槽里的3株生菜,每次测定时采集3组数据,求平均值,以使试验更准确。每7 d测定1次。采用美国生产的CI-710光谱仪测定光谱反射率,每次测定时间为9:00—12:00,波谱范围400~1100 nm,光学分辨率2 nm;采用便携式叶绿素仪(SPAD-502)测定叶片叶绿素含量,单位SPAD;取植物样,在烘箱内105℃杀青30 min,在80℃下烘干,用凯氏法测定植物全氮含量^[20]。

1.4 数据分析

应用Excel 2007和SAS统计软件对试验数据进行方差分析和指标聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮处理生菜叶片在可见光波段光谱反射率的差异

植物叶片在可见光波段中表现出不同的光谱反射率是因为叶片中叶绿素的存在,在近红外波段的反射率较高是因为叶片内部多次结构散射,红外波段的低反射率是因为水的存在^[21]。由图1可以看出,在可见光波段中叶片光谱反射率在整个生育期均为先上升后下降的趋势,在540 nm波长左右处达到峰值,不同时间的反射率最大值有所不同。定植后第14天的各处理反射率差异不大;伴随着营养液氮浓度增加,定植后第21天的光谱反射率明显增加,处理N6的反射率峰值显著大于处理N1和N2,这段时期也许是生菜吸收氮素量多的时期;随着植物体内全氮量的累计,定植后第28天的叶片光谱反射率梯度差异更大,处理N6的反射率峰值极显著大于N1处理。

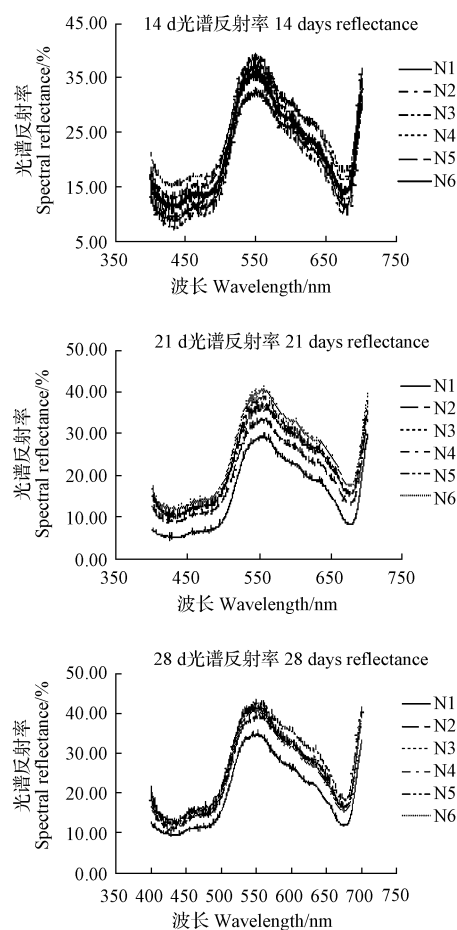


图1 不同时间的不同氮处理的可见光波段光谱反射率

Fig. 1 The visible spectral reflectance of different nitrogen treatments at different time

2.2 不同氮处理生菜叶片叶绿素含量与叶片全氮的相关关系分析

叶绿素在玉米叶片上的光谱反射率显著差异在

550~600 nm 波段^[22],这和叶片叶绿素含量有紧密的相关关系。表 1 中分析了不同氮处理的生菜叶片叶绿素含量与叶片全氮的相关关系。除定植后第 7 天的数据呈非线性关系,定植后 14 d 和 21 d 生菜的叶片叶绿素含量和叶片全氮量同步增长,且 2 组数据拟合方程为线性方程,拟合度分别是 0.747 2 和 0.947 8,在第 14 天和第 21 天的时候达到极显著水平,相关系数为 0.864 4 和 0.973 6。第 7 天 2 组数据关系达到显著水平。定植后

第 28 天的生菜叶片叶绿素含量随着氮浓度的增加呈现先增加后减少的趋势,达到叶片最适氮浓度之后,叶绿素含量随着叶片全氮量的增加而减少,这是由于高浓度氮对生菜生长产生了抑制作用;第 28 天的数据拟合线性方程的拟合度为 0.824 3,二者关系达到显著水平,相关系数 0.907 9。可见,叶片叶绿素含量与叶片全氮在生菜的整个生长期均达到直线正相关显著关系。

表 1 不同氮处理生菜叶片叶绿素含量与叶片全氮的相关性分析

Table 1 Correlation of lettuce leaf chlorophyll content and total nitrogen content in different nitrogen treatments

处理 Treatment	14 d		21 d		28 d	
	叶绿素含量	全氮含量	叶绿素含量	全氮含量	叶绿素含量	全氮含量
	Chlorophyll content /SPAD	Total nitrogen content /(mg·kg ⁻¹)	Chlorophyll content /SPAD	Total nitrogen content /(mg·kg ⁻¹)	Chlorophyll content /SPAD	Total nitrogen content /(mg·kg ⁻¹)
N1	13.7	2.32	7.63	2.17	11.27	2.21
N2	14.4	2.85	11.94	3.08	14.40	4.49
N3	15.9	2.97	13.41	3.76	18.42	5.45
N4	16.6	3.02	14.74	3.92	17.79	5.62
N5	17.3	3.12	16.52	4.71	17.65	6.02
N6	16.9	3.45	17.81	5.62	17.44	6.91
P		0.026 3		0.001 0		0.012 3
拟合度 R ² Degree of fitting R ²		0.747 2		0.947 8		0.824 3
相关系数 R Correlation coefficient R		0.864 4		0.973 6		0.907 9
方程 Equation	y=3.366 38x+5.582 35		y=0.323 82x-0.551 57		y=0.531 46x-3.472 62	

2.3 不同氮处理生菜叶片叶绿素含量与叶片光谱反射率的相关关系分析

在可见光 540 nm 左右处叶片光谱反射率最大,分析不同氮浓度处理下生菜叶片叶绿素含量与相关性的关系见表 2。不同氮处理的生菜整个生育期绿峰处的光谱反射率与叶绿素含量呈线性正相关关系,且均达到极显著水平,相关系数分别是 0.985 5、0.977 0 和 0.955 2。

表 2 不同氮处理生菜叶片叶绿素含量与叶片光谱反射率的相关性分析

Table 2 Correlation of lettuce leaf chlorophyll content and spectral reflectance in different nitrogen treatments

处理 Treatment	14 d		21 d		28 d	
	叶绿素含量	反射率	叶绿素含量	反射率	叶绿素含量	反射率
	Chlorophyll content/SPAD	Reflectance/%	Chlorophyll content/SPAD	Reflectance/%	Chlorophyll content/SPAD	Reflectance/%
N1	13.7	33.27	7.63	30.27	11.27	35.01
N2	14.4	33.80	11.94	33.80	14.40	39.78
N3	15.9	37.08	13.41	37.08	18.42	41.99
N4	16.6	38.53	14.74	38.57	17.79	41.49
N5	17.3	39.37	16.52	38.84	17.65	42.84
N6	16.9	38.84	17.81	40.16	17.44	42.67
P		0.003 0		0.000 8		0.003 0
拟合度 R ² Degree of fitting R ²		0.971 3		0.954 6		0.912 5
相关系数 R Correlation coefficient R		0.985 5		0.977 0		0.955 2
方程 Equation	y=0.503 33x-2.813 85		y=1.003 61x+22.728 95		y=1.018 76x+24.165 20	

2.4 不同氮处理生菜叶片全氮含量与叶片光谱反射率的相关性

分析得出生菜整个生长期的叶片叶绿素含量与叶片全氮量的相关关系达到显著水平,叶绿素与光谱反射率的相关关系也达到了显著水平。在此基础之上,继续分析叶片全氮量与可见光波段光谱反射率的相关关系。

在定植后第 28 天,叶绿素含量与光谱反射率数据不呈递增趋势,可能是高浓度氮对生菜造成胁迫,叶片内部细胞死亡,叶片颜色不均匀等原因导致的。不同的营养液氮浓度处理使叶片叶绿素含量有差异,叶片颜色深浅不同,从而光谱反射率也有所不同。定植后第 21 天的叶绿素与光谱反射率相关性最强,这个阶段可能是生菜吸收氮肥的明显时期。

由表 3 可见,定植后第 21 天的叶片全氮量与叶片光谱反射率达极显著相关关系,拟合度为 0.879 9,相关系数为 0.938 0。定植后的第 28 天的叶片全氮量与叶片光谱反射率相关关系虽然也达到了极显著水平,但是二者的变化规律呈先上升再下降。第 14 天的 2 组数据达到显著相关关系,一定程度上也可以反映叶片全氮含量。

表 3 不同氮处理生菜叶片全氮含量与叶片光谱反射率的相关性分析

Table 3 Correlation of lettuce leaf nitrogen content and leaf spectral reflectance in different nitrogen treatments

处理 Treatment	14 d		21 d		28 d	
	全氮	反射率	全氮	反射率	全氮	反射率
	Total nitrogen content /(mg · kg ⁻¹)	Reflectance /%	Total nitrogen content /(mg · kg ⁻¹)	Reflectance /%	Total nitrogen content /(mg · kg ⁻¹)	Reflectance /%
N1	2.32	33.27	2.17	30.27	2.21	35.01
N2	2.85	33.80	3.08	33.80	4.49	39.78
N3	2.97	37.08	3.76	37.08	5.45	41.99
N4	3.02	38.53	3.92	38.57	5.62	41.49
N5	3.12	39.37	4.71	38.84	6.02	42.84
N6	3.45	38.84	5.62	40.16	6.91	42.67
P	0.023 0		0.005 6		0.001 3	
拟合度 R ² Degree of fitting R ²	0.762 8		0.879 9		0.942 0	
相关系数 R Correlation coefficient R	0.873 4		0.938 0		0.970 6	
方程 Equation	y=0.114 53x-1.280 65		y=0.303 76x-7.196 31		y=1.768 33x+31.582 02	

3 讨论与结论

试验研究了生菜整个生长期叶片叶绿素和叶片全氮的变化,利用叶片光谱反射率对其进行监测,对 3 个参数作相关关系分析,证明光谱仪具有在叶菜类叶片氮素和叶绿素估测上的应用潜力。叶片叶绿素含量与叶片全氮量的密切相关。在每一时期中可见光波段叶片光谱反射率变化呈现单峰曲线状。在生菜的整个生长阶段里 3 个参数的相关性紧密,因此可用叶片叶绿素估算叶片全氮量。

在生菜生长过程中,可见光波段的光谱反射率与叶片全氮和叶片叶绿素的相关关系强烈,可以达到诊断氮素营养和叶绿素含量的适宜效果。试验只针对可见光区域生菜叶片光谱反射率的监测试验,对光谱仪整个光谱波段的研究有所欠缺,光谱波段单一,多波段组合参数和具体波长有待研究。该试验采用叶夹探头对叶片进行数据测定,过程中可能会受到太阳辐射和设施环境湿度的影响。

研究结果表明,在生菜定植到营养液中生长的全过程中,生菜叶片可见光光谱数据呈现曲线变化,在 540 nm 处达到最大值,随着氮素在植物叶片中的积累,低浓度氮处理下的生菜叶片反射率下降;叶片全氮和叶绿素含量与叶片光谱反射率具有显著相关关系。

利用可见光波段光谱反射率最大值反演叶片全氮和叶绿素在生菜生长过程中具有很大程度的可应用性。叶绿素是氮素营养的指示器,叶绿素含量的多少直接影响光谱反射率的大小。

参考文献

- [1] 孙金英,曹宏鑫,黄云.光谱技术在作物生长与营养信息监测方面的研究进展[J].中国农业科技导报,2008,10(S1):18-24.
- [2] 白由路,金继运,杨俐苹,等.低空遥感技术及其在精准农业中的应用[J].土壤肥料,2004(1):3-6.
- [3] 陈沈斌.小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集[M].北京:中国科学技术出版社,1993.
- [4] 李建龙.遥感技术在大面积天然草地估产和预报中的应用探讨[J].武汉测绘科技大学学报,1998(2):153-158.
- [5] 申广荣,王人潮.植被高光谱遥感的应用研究综述[J].上海交通大学学报(农业科版),2001,19(4):315-321.

- [6] THOMAS J R, OERTHER G F. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements[J]. Agronomy Journal, 1972, 64: 11-13.
- [7] WALBURG G, BAUER M E, DAUGHTRY C S T, et al. Effects of nitrogen on the growth, yield, and reflectance characteristic of corn[J]. Agronomy Journal, 1996, 88: 915-920.
- [8] MA B L, MORRISON M J, DWYER L M. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize[J]. Agronomy Journal, 1982, 74: 677-683.
- [9] OSBORNE S L, SCHEPERS J S, FRANCIS D D, et al. Detection of phosphorus and nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements[J]. Agronomy Journal, 2002, 94: 1215-1221.
- [10] EVERITT J H, PETTIT R D, ALANIZ M A. Remote sensing of broom snake weed (*Gutierrezia sarothrae*) and spiny aster (*Aster spinosus*) [J]. Weed Science, 1987, 35(2): 295-302.
- [11] 王人潮,陈铭臻,蒋亨显.水稻遥感估产的农学机理研究 I 不同氮素水平的水稻光谱特征及其敏感波段的选择[J].浙江农业大学学报,1993, 19(增刊): 7-14.
- [12] 周启发,王人潮.水稻氮素营养水平与光谱特征的关系[J].浙江农业大学学报,1993,19(增刊): 40-46.
- [13] 薛利红,曹卫星,罗卫红,等.小麦叶片氮素状况与光谱特性的相关性研究[J].植物生态学报,2004,28(2): 172-177.
- [14] 王纪华,黄文江,赵春江,等.利用光谱反射率估算叶片生化组分和籽粒品质指标研究[J].遥感学报,2003,7(4): 277-284.
- [15] THOMAS A S, CAULA A B. Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency[J]. Adv Space Res, 2005, 35(2): 305-317.
- [16] THOMAS J R, GAUSMAN H W. Leaf reflectance vs leaf chlorophyll and corticoid concentration for eight crops [J]. Agronomy Journal, 1977, 69: 799-802.
- [17] 王秀珍,王人潮,李云梅,等.不同氮素营养水平的水稻冠层光谱红边参数及其应用研究[J].浙江大学学报,2001,27(3): 301-306.
- [18] 吴长山,童庆禧,郑兰芬,等.水稻、玉米的光谱数据与叶绿素的相关分析[J].应用基础与工程科学学报,2000,8(1): 1215-1221.
- [19] 程一松,胡春胜,王成,等.养分胁迫下的夏玉米生理反应与光谱特征[J].资源科学,2001,23(6): 54-58.
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000: 42-49.
- [21] KNIPLING E B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation[J]. Remote Sensing of Environment, 1970(1): 155-159.
- [22] BLACKMER T M, SCHEPERS J S, VARVEL G E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves[J]. Agronomy Journal, 1994, 86: 934-938.

DOI:10.11937/bfyy.201522004

“武当1号”猕猴桃芳香物质的研究

朱先波^{1,2}, 潘亮¹, 彭家清¹, 吴伟¹, 肖涛¹, 任小林²

(1. 十堰市经济作物研究所, 湖北 十堰 442714; 2. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以中华猕猴桃“武当1号”和“红阳”为试材,采用静态顶空和气相色谱-质谱联用技术,对“武当1号”和“红阳”的香气组成和含量进行了测定,分析早熟中华猕猴桃“武当1号”的香气组成,旨在为早熟中华猕猴桃香味育种提供参考依据。结果表明:“武当1号”和“红阳”在3个冷藏时期共检测到119种香气成分,其中“武当1号”特异的有38种。“武当1号”的香气种类酯类含量变化不大,醛类含量升高,酮类和醇类含量降低。对“武当1号”影响最大的前4种芳香物质是(E)-2-己烯醛、己醛、(E)-2-己烯醇、壬醛,该试验可以为早熟中华猕猴桃香气育种提供依据。

关键词:冷藏;“武当1号”;猕猴桃;芳香物质

中图分类号:S 663.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)22-0016-06

猕猴桃除富含大量的维生素C之外,还含有丰富的各种营养物质,香气浓郁更易引起消费者的食欲。猕猴桃采摘后不耐贮藏,一般是冷库贮藏,尤其是中华猕猴桃。香气是猕猴桃的一个重要品质,国外学者对猕猴桃品种“海沃德”^[1]和“黄金果”^[2]的香气进行了研究,还对不同的基因型^[3-4]和不同成熟度^[5]的猕猴桃香气进行了分析,通过不同方法对猕猴桃香气进行研究^[6],国内也

有很多学者在猕猴桃香气方面做了很多工作^[7-9]。“武当1号”是在武当山实生选育的一种中华猕猴桃,绿肉,表现为成熟期较早,在8月下旬成熟,富含浓郁的香气,目前尚鲜见有关该品种香气方面的研究,“红阳”在冷库中的香气变化已有学者做过相关研究^[9],该试验采用“武当1号”为试材,以“红阳”为对照,研究“武当1号”和“红阳”芳香物质的变化差异。以确定早熟中华猕猴桃“武当1号”的香气组成,旨在为早熟中华猕猴桃香味育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试材料 以适宜采摘的中华猕猴桃“武当

第一作者简介:朱先波(1983-),男,湖北郧西人,博士研究生,研究方向为园艺产品采后生理与贮藏保鲜。E-mail:Xianbo0036@163.com.

责任作者:任小林(1964-),男,陕西永寿人,博士,教授,现主要从事园艺产品采后生理与贮藏保鲜等研究工作。E-mail:renxl@nwsuaf.edu.cn.

收稿日期:2015-08-19

Correlation Between Lettuce Leaf Spectral Reflectance in Visible Light Area and Leaf Nitrogen Content and Leaf Chlorophyll Content Under Different Levels of Nitrogen

LIU Yanjie, LI Jianshe, GAO Yanming

(Agricultural College, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: With ‘American high speed’ lettuce as test material, the correlation between leaf chlorophyll and leaf spectral reflectance were studied under different treatments of nitrogen analysis by nourishing liquids experiment, in order to study whether high-spectral technique could be applied nutrition surveillance in leafy vegetables. The results showed that spectral reflectance data presented a single peak curve and increased with leaf nitrogen concentration increasing. During the lettuce growth process, leaf spectral reflectance, chlorophyll content, total nitrogen had significant linear correlation. Leaf chlorophyll content could indicate how much leaf total nitrogen content in spectral techniques, using the blade maximum spectral reflectance of visible area could be achieved a goal that the lettuce leaf total nitrogen content and chlorophyll content be inferred.

Keywords: lettuce; leaf total nitrogen; chlorophyll; spectral reflectance