不同氮营养水平与夏玉米光谱特性关系初报

郭 曼,常庆瑞,曹晓瑞
(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 【目的】揭示关中地区夏玉米叶面光谱特性与施氮量间的相关性,探索不同施氮水平下夏玉米叶片含氮量与叶绿素等生化指标及其光谱反射率特征。【方法】在田间设置不同施氮水平(纯氮施用量分为 0,120 和 240 kg/hm^2)的试验小区,分别于喇叭期、抽穗期、吐丝期和乳熟期,采用 FieldSpec 光谱仪于室内标准光源下测定夏玉米叶片的光谱反射率,采用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮,连续流动注射分析仪测定叶片氮含量,采用叶绿素仪测定穗位叶片的叶绿素含量,并对所得数据进行相关性分析。【结果】夏玉米叶片含氮量与叶绿素含量之间呈显著相关性,作物施氮水平对叶片的叶绿素含量及含氮量有直接影响;不同施氮水平下夏玉米叶面的反射波谱曲线趋势大致相同,均明显在绿波段(550 nm 左右)有 1 个反射峰,在近红外波段(760～1 070 nm)有 1 个较高的反射率平台,在近红外波段(760～1 070 nm)处的反射率随氮肥用量的增加而提高,在可见光波段(400～760 nm)处的反射率则正好相反;在可见光波段,不同生长期玉米的叶面光谱反射率表现为乳熟期>抽雄期>喇叭口期>吐丝期,而在近红外波段其光谱反射率表现为乳熟期>喇叭口期>抽雄期>吐丝期;在可见光(400～760 nm)波段处,夏玉米不同生育期叶片的反射率与叶片含氮量及叶绿素含量呈负相关,而在近红外(760～1070 nm)波段处,除抽雄期外,其余生育期叶片的反射率与叶片含氮量及叶绿素含量均呈正相关,且相关性较为显著;高光谱遥感监测显示,关中地区夏玉米氮素营养水平的敏感时期分别是喇叭口期、吐丝期及乳熟期,敏感波段为可见光波段的 500～720 nm 和近红外区的 760～1 070 nm。【结论】夏玉米的氮营养水平与叶面光谱反射率存在显著的相关性,利用高光谱遥感数据监测关中地区夏玉米的营养状况是可行的。

[关键词] 夏玉米;氮营养;叶绿素含量;光谱反射率;光谱特征
[中图分类号] S513.01;S127 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2008)11-0123-07

Initial study of different nitroger levels on summer corn's spectral characteristics

GUO Man, CHANG Qing-rui, CAO Xiao-rui
(*College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: 【Objective】 The sutdy revealed the correlation between spectral reflection and nitrogenous fertilizer of summer corn in Guanzhong area, and explored the nitrogen content, chlorophyll content and spectrum reflection of summer corn leaf in the different nitrogen conditions. 【Method】 Experimental sites were set up in the field and the spectrum reflections of different stages were detrmined by FieldSpec in the room, leaf's nitrogen content and cholrophyll content were determined using H_2SO_4-H_2O_2 boil method and chlorophyll Meter, and the resulting data were analyzed with the flow Injection Analysis. 【Result】 The result indicated that, the correlation between summer corn leaf's nitrogen content and chlorophyll content was distinct. The different nitrogenous fertilization affected nitrogen and chlorophyll content directly. In

* [收稿日期] 2007-12-04
[基金项目] 国家自然科学基金项目(30571527);西北农林科技大学科研专项(2030203146)
[作者简介] 郭 曼(1979－),女,陕西礼泉人,硕士,主要从事土地资源与信息技术研究。E-mail:mg.2003@yahoo.com.cn
[通讯作者] 常庆瑞(1959－),男,陕西子洲人,教授,博士生导师,主要从事遥感与地理信息系统研究。

the different nitrogen levels the reflection spectrum curve tended to be approximately the same. The general spectrum characteristic displays had obvious green band (nearby 550 nm) reflection peak in the index of reflection spectrum curve, and the near-infrared band (760－1 070 nm) had a higher reflection platform. In the near-infrared band place reflection enhanced along with the nitrogenous fertilizer increase, just opposite in the visible light band place with visible light band 400－760 nm, and the leaf surface spectrum reflection displayed: milking stage＞tassel stage＞trumpet stage＞spinning stage, while with infrared band 760－1 070 nm: milking stage, trumpet stage＞tassel stage＞the spinning stage. At band 400－760 nm, the correlation between spectrum reflection and nitrogen & chlorophyll content was negative, but opposite in the 760－1 070 nm, elativity prominent (except tassel stage). The estimation on summer cron leaf's nitrogen level using hyperspectral remote sensing's sensitive stage was trumpet stage, spinning stage and milking stage in the Guanzhong Area, the sensitive band being 500－720 nm and 760－1 070 nm.【Conclusion】 This shows, the correlation between different nitrogenous fertilizer and summer corn leaf's spectral reflection is very distinct. So it is feasible to observe corn's nutrient with the hyper-spectra data in the Guanzhong Area.

Key words: Summer corn; Nitragen nutrient; chlorophyll content; spectral reflection; spectral characteristoic

玉米是我国仅次于水稻和小麦的第三大粮食作物，其种植面积和产量均约占我国粮食作物种植面积和产量的 1/5，在我国人们生活和国家经济发展中占有非常重要的地位。氮是植物生长发育所必需的营养元素之一，也是土壤肥力中最活跃的因素，亦是植物生长发育中最重要的限制因子，因此增施氮肥是农业生产中主要的增产措施之一。然而，由于氮在土壤中的淋洗作用，施氮过多，则容易造成地下水的污染。随着环境问题日益受到关注，如何在保证作物高产优质的同时，防止或尽量减少作物生产带来的环境污染，是各国政府、农学家和生产者所面临的必须解决的问题[1]。施氮量的变化会引起作物叶片生理及形态结构的相应变化，从而引起作物光谱反射特性的变化，这是通过光谱手段获取作物生化参量信息的理论基础，从而使得大面积监测作物的营养状况成为可能。同时，这也是精确农业中进行变量施肥不可或缺的基础技术[2-3]。

近 20 年来，利用遥感进行作物氮素的实时监测和快速诊断，一直是农业应用研究的热点之一[4-6]。因此，在玉米主产区的大田开展高光谱农学参数估算研究，其结果对农业生产具有十分重要的实际指导意义[7]，但目前有关关中地区农作物营养状况的遥感监测研究还不多见。为此，本试验在陕西关中地区，设置不同施氮水平的夏玉米试验小区，测定不同生育期夏玉米叶片的光谱反射率，并结合其叶片氮含量和叶绿素含量的变化进行了分析，以期为该区农作物营养水平和产量的高光谱遥感估测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 供试玉米 供试夏玉米品种为中单 2 号，由陕西杨凌西北农林科技大学玉米研究中心提供。

1.1.2 供试土壤 供试土壤为红油土，粉砂粘壤质地，容重 1.32 g/cm^3，其基本理化性状为：pH 8.18，有机质 15.85 g/kg，全氮 0.66 g/kg，碱解氮 76.65 mg/kg，速效磷 13.24 mg/kg，速效钾 189.91 mg/kg。各理化指标的测定均参考文献[8]进行。

1.2 田间试验设计

试验于 2005-06～10 在西北农林科技大学西农校区试验农场进行，试验设 3 个施氮水平：CK(0 kg/hm^2)、N1(120 kg/hm^2)、N2(240 kg/hm^2)，重复 2 次。氮肥以尿素(含 N 46%)为氮源，播种时氮肥施用 2/3，灌浆期追施 1/3。磷肥选用过磷酸钙(P_2O_5 含量以 14%计)，施用量 112 kg/hm^2，作为底肥于播种前均匀施入。田间小区采取随机区组排列，株、行距分别为 33 和 50 cm，播种密度为 7 万株/hm^2。06-24 播种，10-09 收获。水分采用自然降水，2005 年全生育期降雨量为 427.2 mm，田间管理同一般大田。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 夏玉米叶片叶绿素及氮含量的测定 分别于喇叭口期(08-05)、抽雄期(08-22)、吐丝期(09-05)和乳熟期(09-13)，采用叶绿素仪 SPAD-502 测定夏玉米穗位叶片的叶绿素含量。叶片氮含量采用化学分析法，将每个时期的夏玉米穗位叶片烘干、粉碎，

经 H_2SO_4-H_2O_2 消煮,用连续流动注射分析仪进行测定[8]。

1.3.2　夏玉米叶片叶面光谱反射率的测定　分别于喇叭口期、抽雄期、吐丝期和乳熟期采用美国 ASD 公司生产的 FieldSpec 光谱仪,在室内标准光源下测定相同部位玉米叶片的光谱反射率,视场角 7.5°,每隔 10 nm 测定一次。探头距叶面 100 cm 处垂直向下测定,每点测定 5 次,取平均值作为该小区玉米叶面的光谱反射率值,各小区测定前、后均立即进行参考板校正。玉米叶片氮含量及叶绿素含量与光谱测定同步进行。

2　结果与分析

2.1　不同施氮水平下夏玉米叶片叶绿素含量与氮含量的变化

不同施氮水平不同生育期夏玉米穗位叶片叶绿素及氮含量的变化趋势如图 1 所示。由图 1 可见在各施氮水平下,叶片叶绿素含量与氮含量在不同生育期的变化趋势基本相同,从喇叭口期到吐丝期,随着植株的生长,玉米根系从土壤中不断吸收氮素营养,叶片氮及叶绿素含量不断积累,至吐丝期达到最高。而吐丝期到乳熟期,植株生长停止,叶片因本身不再进行较强的光合作用,开始不断将养分提供给穗部而逐渐衰老,其氮含量随之逐渐下降。且随着施氮量的增加,叶片叶绿素含量在每个生育时期均表现出增加趋势,表明增施氮肥能提高叶片叶绿素含量和光合作用效率,延缓作物衰老,这和栾明宝[9]的研究结果一致。

光合作用过程中起吸收光能作用的色素有叶绿素 A、叶绿素 B 与类胡萝卜素,其中叶绿素是吸收光能的物质,与植被的光能利用有直接关系。叶绿素含量和植被的光合能力、发育阶段以及氮素营养状况有较好的相关性,通常是氮素胁迫、光合作用能力和植被发育阶段的指示器[10]。

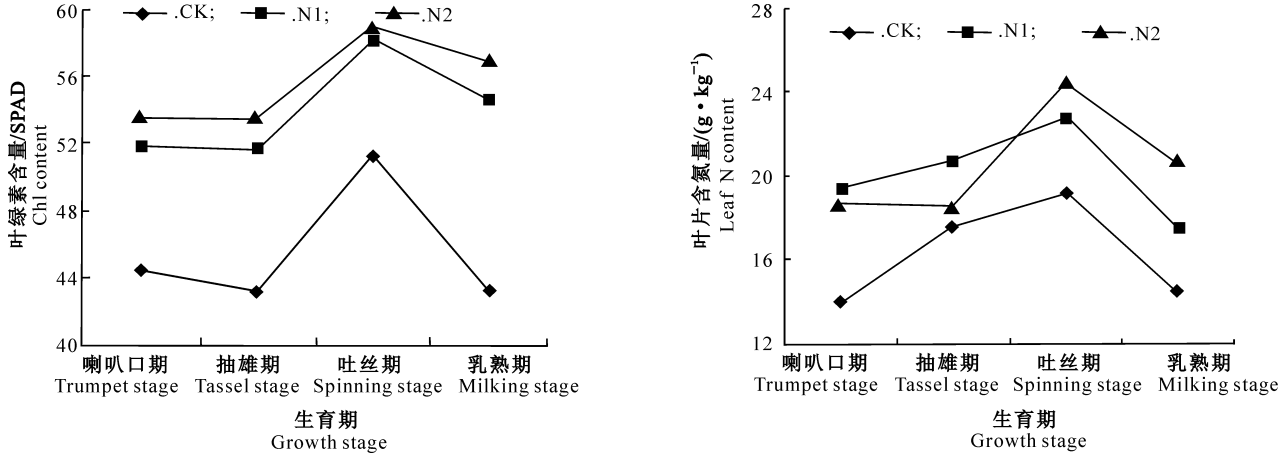

图 1　不同施氮水平下夏玉米各生育期叶片叶绿素和含氮量的变化

Fig. 1　Changes of the summer corn leaf's chlorlphyll and nitrogen content at different nitrogen levels and different growth stages

通过叶片氮含量与叶绿素含量的相关分析可以看出,不同生育阶段夏玉米叶片氮含量与叶绿素含量之间的相互影响程度,也能成为反映物质生产和遥感反射光谱关系的中间枢纽。本研究对夏玉米喇叭口期、抽雄期、吐丝期、乳熟期 4 个时期的叶片氮含量与叶绿素含量进行了线形拟合,获得的线性方程式为 $Chl = A + BN_s$(式中:Chl 为叶片叶绿素含量,N_s 为叶片氮含量,A 为截距,B 为斜率),各参数的拟合结果如表 1 所示。

表 1　夏玉米不同生育期叶片含氮量与叶绿素含量的相关关系

Table 1　Summer corn leaf nitrogen and chlorophyll content correlational at different growth stages

生育期 Growth stage	A	B	r
喇叭口期 Trumpet stage	23.227	1.545	0.952 2**
抽雄期 Tassel stage	10.857	2.036	0.590 3
吐丝期 Spinning stage	22.168	1.532	0.970 6**
乳熟期 Milking stage	14.009	2.143	0.929 7**

注:** 表示极显著水平。

Note: ** mean extremely remarkable level.

从表 1 可以看出,叶片氮含量与叶绿素含量呈正相关关系。除了抽雄期相关性不显著外,其他生育期叶片氮含量与叶绿素含量的相关性均达极显著水平。这说明叶片氮含量与叶绿素含量有很高的相关性,作物施氮水平对叶片叶绿素含量有直接影响。

2.2 不同施氮水平下夏玉米叶片的光谱反射率分析

2.2.1 不同生育期夏玉米叶片的光谱反射曲线

氮素对作物生长和产量的影响最大,因而在光谱特征曲线上,不同施氮水平间有一定差异。由图 2 可知,在夏玉米的各个生育阶段,各施肥水平下玉米叶面反射波谱曲线的变化趋势表现出相同的规律性:绿波段(550 nm 左右)具有明显的反射率峰,在此峰的左侧是蓝紫波段吸收峰(402 nm),右侧向长波方向移动,先经历了 1 个红波段吸收谷(670 nm)后,反射率迅速增加,至 670～760 nm 之后,在近红外波段(>780 nm)形成 1 个较高的反射平台。

总的来看,近红外波段(760～1 070 nm)处的反射率,随氮肥施用量的增加而提高,而在可见光波段(400～760 nm)则正好相反,即随氮肥用量的增加反射率降低,这一现象在绿光波段(500～560 nm)表现得尤为突出。缺氮会导致叶绿素含量降低,从而使反射率增加,表现在光谱特征曲线上就是反射峰的增高。这也可能与叶片的组织结构有关,因为缺氮叶片的组织结构比较坚实,细胞壁的水化度低,与此相反叶片氮含量高的叶细胞大而间隙也大,细胞壁的水化度较高,从而表现出随着氮含量的下降,在可见光波段的反射率增加。

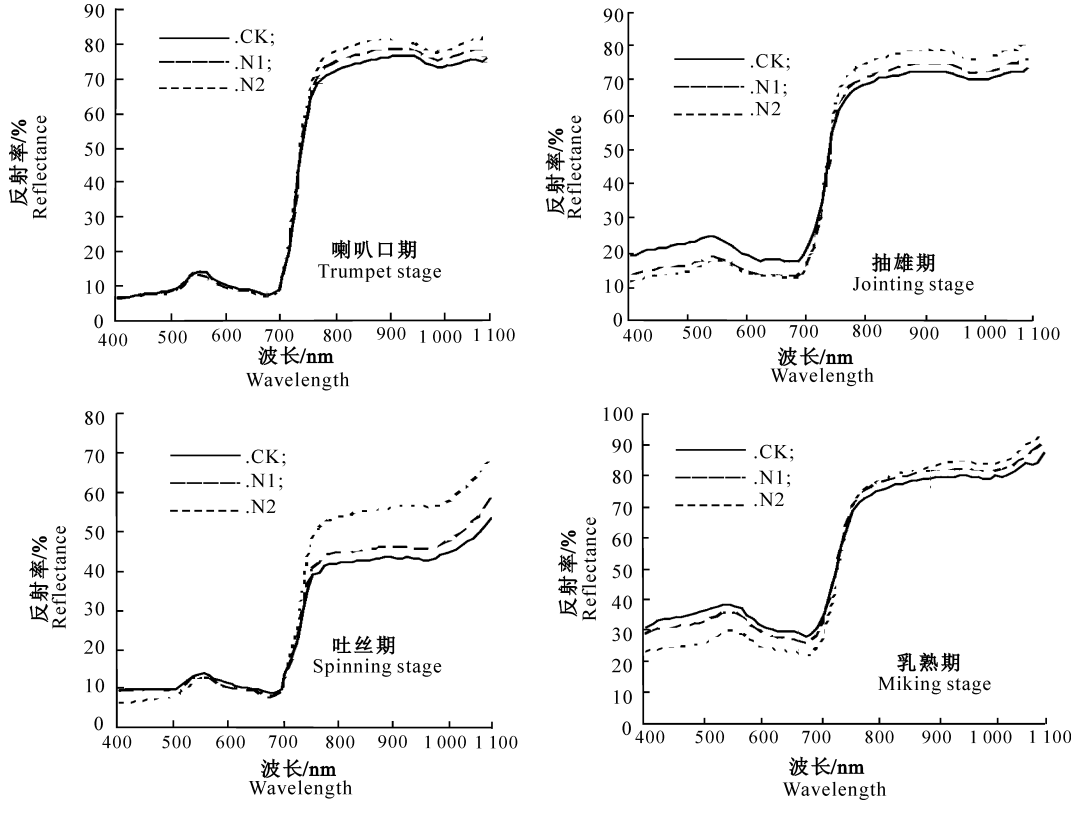

图 2 不同施氮水平下夏玉米各生育期叶片的光谱反射曲线

Fig. 2 Reflectance of the summer corn leaf at each stage under different nitrogen levels

2.2.2 夏玉米不同生育期叶片的光谱反射特征

夏玉米不同生育期叶片的光谱变化表现出一定的规律性,且在 3 个施氮水平(CK、N1、N2)间,夏玉米叶片光谱曲线的变化趋势基本一致,故选择 N1(中氮水平)处理的叶片光谱反射曲线为例进行分析。由图 3 可见,在 400～700 nm 的可见光波段,随着玉米的生长发育,叶面光谱反射率表现为乳熟期>抽雄期>吐丝期>喇叭口期;在 700～1 070 nm 的红外波段,叶面光谱反射率表现为乳熟期、喇叭口期>抽雄期>吐丝期,表明从喇叭口期到吐丝期,叶面光谱反射率减小。这是因为这个时期的玉米正处于籽粒产生生长期,很多物质及能量主要用于种子的产生、生长,从而减少了叶绿素的合成,故光谱反射率下降。

2.3 夏玉米叶片氮含量和叶绿素含量与光谱反射率的相关性分析

叶片氮含量、叶绿素含量等生物量参数,可以反

映作物生长发育的特征动态,也是反映物质生产和反射光谱关系的中间枢纽[11-12],通过叶片氮含量和叶绿素含量与叶片光谱反射率间的相关性,可以得出作物全生育期和不同生育阶段叶绿素的敏感波段范围[13]。

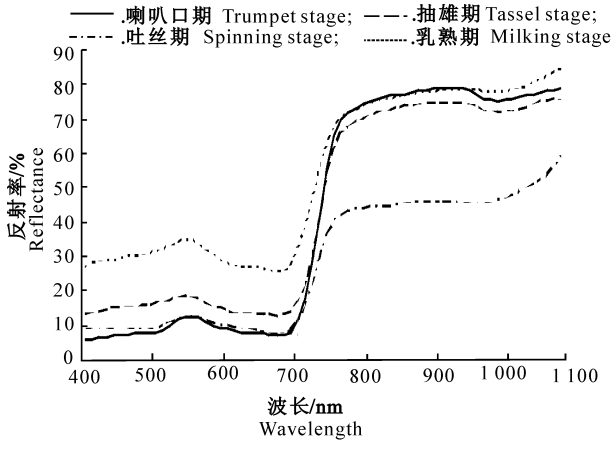

图 3　N1 处理时不同生育期夏玉米叶面光谱反射率的变化

Fig. 3　Changes of leaf's pectrum index of reflection at N1 treatment at different stages of the summer corn

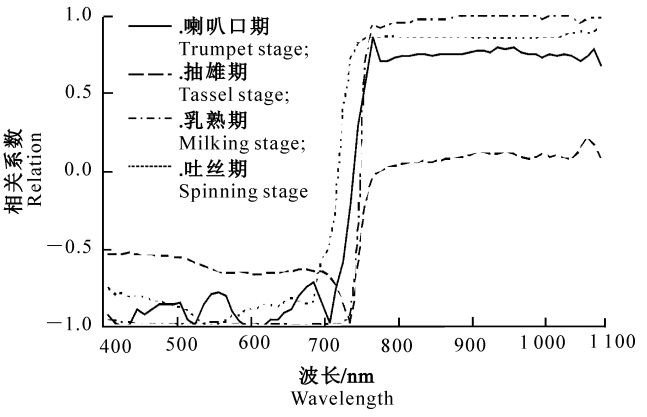

图 4　夏玉米不同生育期叶片氮含量与光谱反射率的相关分析

Fig. 4　Correlation analysis of leaf's nitrogen content and index of reflection at different stages of the summer corn

2.3.1　*夏玉米叶片氮含量与光谱反射率的相关性分析*　对夏玉米光谱反射率和叶片氮含量之间的相关性分析结果见图 4。由图 4 可知,在各施肥水平下,可见光波段(400～760 nm)处夏玉米叶片的反射率与叶片氮含量呈负相关,近红外波段(760～1 070 nm)处叶片的反射率与叶片氮含量呈正相关。从不同生育期来看,抽雄期的相关性均未达到显著水平,吐丝期与乳熟期的相关性较显著,因此吐丝期和乳熟期是光谱监测夏玉米叶片氮含量的敏感时期。而从波段来看,在 400～720 nm 波段处和 760～1 070 nm 波段处相关性较好,其相关系数绝对值均大于 0.839 6,达到 99%的极显著水平。由此可知,在可见光波段(400～720 nm)和近红外区(760～1 070 nm)是遥感监测叶片氮含量变化差异的敏感波段。

2.3.2　*夏玉米叶片叶绿素含量与光谱反射率的相关性分析*　叶绿素是吸收、传递和转化光能的主要物质,是影响植物光合作用的重要因素,在一定范围内,光合速率随叶绿素含量的增加而加强[14]。对夏玉米叶片光谱反射率和叶绿素含量之间的相关性进行分析,结果见图 5。由图 5 可知,不同施氮水平下,在可见光波段(400～720 nm)处夏玉米叶片的光谱反射率与叶绿素含量呈负相关,而在近红外波段(760～1 070 nm)处呈正相关;从不同生育期来看,在喇叭口期与乳熟期,除 720～760 nm 波段外,在其余波段夏玉米叶片的光谱反射率与叶绿素含量的相关性均较好,因此喇叭口期和乳熟期是光谱监测夏玉米叶绿素含量的敏感时期;而从波段来看,在 500～720 nm 波段处和 760～1070 nm 波段处,夏玉米叶片的光谱反射率与叶绿素含量的相关性较好,其相关系数的绝对值均大于 0.841 2,相关性达显著水平。因此,可见光波段的 500～720 nm 和近红外区的 760～1070 nm,是遥感监测叶绿素变化差异的敏感波段。

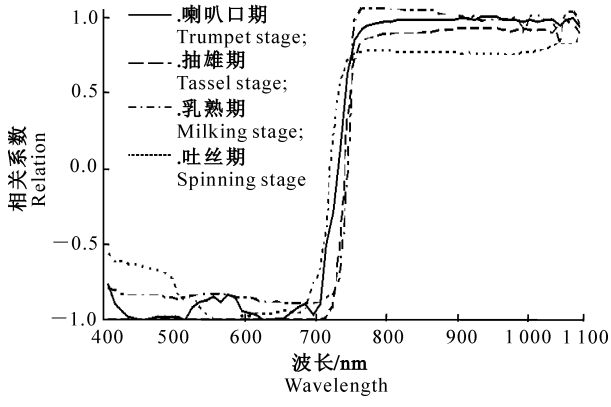

图 5　夏玉米不同生育期叶片叶绿素含量与光谱反射率的相关分析

Fig. 5　Correlation analysis of leaf's chlorophyll content and index of reflection at different stages of the summer corn

综上所述,在关中地区进行夏玉米叶片氮营养水平遥感监测的敏感时期为喇叭口期、吐丝期及乳

熟期,而遥感监测的敏感波段为 500～720 nm 的可见光波段和 760～1 070 nm 的近红外区。

3 结 论

本试验对不同施氮水平下夏玉米叶片的光谱特性进行了初步研究,通过对叶片含氮量及叶绿素含量和光谱特征之间的相关分析,可得出如下结论:

(1)在各施氮水平下,叶片叶绿素含量与氮含量在不同生育期的变化趋势基本一致,均随玉米生育期的延长而增加,于吐丝期达到最高,之后又逐渐下降。除抽雄期外,叶片含氮量与叶绿素含量间的相关性显著。

(2)在不同施氮水平下,夏玉米叶片光谱反射率也呈现出相应的规律性。在各施氮水平下,夏玉米叶面反射波谱曲线的变化趋势大致相同,具有明显的绿波段(550 nm 左右)反射率峰,并在近红外波段(780～1 070 nm)处形成一个较高反射率的平台。在近红外波段(760～1 070 nm)处的反射率随氮肥用量的增加而提高,而在可见光波段(400～760 nm)处的表现则正好相反。在可见光波段(400～700 nm)处,随着玉米的生长发育,不同生育期玉米叶面的光谱反射率为乳熟期>抽雄期>喇叭口期>吐丝期,而在红外波段(700～1070 nm)处,叶面光谱反射率表现为乳熟期、喇叭口期>抽雄期>吐丝期。

(3)不同施氮水平下,在可见光波段(400～760 nm)处,夏玉米叶片光谱反射率与叶片氮含量及叶绿素含量呈负相关,而在近红外波段(760～1 070 nm)处呈正相关。遥感监测关中地区夏玉米氮营养水平的敏感时期分别是喇叭口期、吐丝期及乳熟期;敏感波段为 500～720 nm 的可见光波段和 760～1 070 nm 的近红外区。

(4)总体而言,本试验对不同施氮水平下夏玉米叶片光谱特征的初步研究,得到了较好的结果,体现了一定的规律性,为进一步利用高光谱遥感数据研究关中地区夏玉米的营养状况提供了依据和数据,对农业生产有重要的实践意义,尤其在精准农业的研究和实践方面有重要的参考价值。然而,本试验结论并不能完全揭示夏玉米不同养分状况时的光谱变化机理和规律,原因是本次试验仅做了夏玉米叶片叶绿素含量及氮含量与光谱反射率的相关性研究,然而由于植物冠层光谱特性是植物光谱特性与背景土壤光谱特性的综合,并且光谱测定过程中受太阳辐射、气溶胶、水蒸气等环境因素的影响[15],特别是本试验采用的仅为叶片部分的叶绿素含量及氮含量,减弱了叶绿素及氮含量与光谱数据的相关性。因此,要完全揭示关中地区不同营养水平下夏玉米的光谱特性规律,仍需作进一步的深入研究和验证。

[参考文献]

[1] 薛利红,罗卫红,曹卫星,等. 作物水分和氮素光谱诊断研究进展 [J]. 遥感学报, 2003,7(1):73-80.
Xue L H,Luo W H,Cao W X,et al. Research progress on the water and nitrogen detection using spectral reflectance [J]. Journal of Remote Sensing,2003,7(1):73-80. (in Chinese)

[2] Curran P J,Dungan J L,Peterson D L. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectra-metry testing the Kokaly and Clark methodologies [J]. Remote Sensing of Environment,2001,76(3):349-359.

[3] 张 霞,刘良云,赵春江,等. 利用高光谱遥感图像估算小麦氮含量 [J]. 遥感学报,2003,7(3):176-182.
Zhang X,Liu L Y,Zhao C J,et al. Estimating content of wheat by using hyper spectral data [J]. Journal of Remote Sensing,2003,7(3)176-182. (in Chinese)

[4] Smil V. Global population and nitrogen cycle [J]. Scientific American,1997,277:76-81.

[5] Patteye,Strachan I B,Boisvert J B,et al. Detecting effects of nitrogen rate and weather on corn growth using microme-teorological and hyperspectral reflectance measurements [J]. Agricultural and Forest Meteorology,2001,108:85-99.

[6] Strachan I B,Patteye,Boisvert J B. Impact of nitrogen and environment conditions on corn as detected by Hyper-spectral reflectance [J]. Remote Sensing of Environment,2002,80:213-224.

[7] 宋开山,张 柏,李 方,等. 玉米叶绿素含量的高光谱估算模型研究 [J]. 作物学报,2005,31(8):1095-1097.
Song K S,Zhang B,Li F,et al. A hyper spectral model for estimating chlorophyll content in maize leaves [J]. Acta Agronomica Sinic,2005,31(8):1095-1097. (in Chinese)

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Soil Analysis of Agro-chemistry [M]. 3rd Edition. Beijing:Agricultural Publishing Company of China,2000. (in Chinese)

[9] 栾明宝. 不同玉米品种氮效率差异的生理机制初步研究 [D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2005:12-37.
Luan M B. Initially study on corn breeds' physiological mechanism In the different nitrogen efficiency [D]. Yangling,Shaanxi:Northwest A&F University,2005:12-37. (in Chinese)

[10] 赵 祥,刘素红,王培娟,等. 基于高光谱数据的小麦叶绿素含量的反演 [J]. 地理与地理信息科学,2004,20(3):36-39.
Zhao X,Liu S H,Wang P J,et al. A method for inverting chlorophyll content of wheat using hyperspectral [J]. Geography and Geo-Information Science,2004,20(3):36-39. (in

Chinese)

[11] 景娟娟,王纪华,王锦地,等. 不同氮素营养条件下冬小麦的生理及光谱特性 [J]. 遥感信息,2003(2):28-31.
Jing J J,Wang J H,Wang J D,et al. Spectral characteristics of winter wheat under different nitrogen nutrient [J]. Remote Sensing Information,2003(2):28-31. (in Chinese)

[12] 谭昌伟,王纪华,黄文江,等. 夏玉米叶片全氮叶绿素及叶面积指数的光谱响应研究 [J]. 西北植物学报,2004,24(6):1041-1046.
Tan C W,Wang J H,Huang W J,et al. Study on spectral variation of LTN, CHL and LAI of summer maize [J]. Acta Bot Boreal Occident Sin,2004,24(6):1041-1046. (in Chinese)

[13] 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.
Cheng Y S,Hu C S,Wang C,et al. Physiological response and spectral characteristics of summer corn under nutrient stress condition [J]. Resources Science,2001,23(6):54-58. (in Chinese)

[14] 张继澍. 植物生理学 [M]. 西安:世界图书出版社,1999.
Zhang J S. Botanic physiology [M]. Xi'an:World Books Publishing Company,1999. (in Chinese)

[15] 王　磊,白由路. 不同氮处理春玉米叶片光谱反射率与叶片全氮和叶绿素含量的相关研究 [J]. 中国农业科学,2005,38(11):2268-2276.
Wang L,Bai Y L. Correlation between corn leaf spectral reflectance and leaf total nitrogen and chlorophyll content under different nitrogen level [J]. Scientia Agricultura Sinica,2005,38(11):2268-2276. (in Chinese)

(上接第 122 页)

[14] 王效华,王正宽,冯祯民. 中国小康农村家庭能源消费基本特征及其评价指标体系研究 [J]. 农业工程学报,2000,16(2):97-100.
Wang X H,Wang Z K,Feng Z M. General features and its appraised index system on comparatively well-off rural household energy consumption in China [J]. Transactions of the CSAE,2000,16(2):97-100. (in Chinese)

[15] 白建新,牛冲槐. 全面小康社会指标体系研究 [J]. 太原理工大学学报:社会科学版,2003,21(4):48-51.
Bai J X,Niu C H. A resarch on the indicator system of a well-off society in an all-round way [J]. Journal of Taiyuan University of Technology: Social Sciences Edition,2003,21(4):48-51. (in Chinese)