

冬小麦特征光谱对其全氮和硝态氮的响应

张俊华^{1,2}, 张佳宝²

(1. 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 宁夏 银川 750021; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘 要: 通过田间试验, 测定了不同施氮水平下冬小麦冠层在6个典型生育期地上部分全氮和硝态氮含量以及冠层光谱, 系统分析了单波段反射率、可见光和近红外波段组合而成的归一化植被指数(NDVI)、比值植被指数(RVI)等8种常见植被指数与相应时期地上部分全氮和硝态氮含量的相关性。结果表明, 施氮量增加, 全氮、硝态氮含量、冠层近红外波段反射率都随之增加, 但当施氮量增加到300 kg/hm²(一次性施入)时, 上述各项指标均降低; 整个生长期中孕穗期在近红外区域反射率最高, 与可见光波段反射率相差最大; 6个生育期单波段510~1100 nm反射率、NDVI、RVI等8种植被指数与全氮和硝态氮含量呈显著或极显著相关, 植被指数的相关性较单波段高, 且与全氮的相关性明显大于与硝态氮的相关性。选择NDVI(560 nm, 760 nm)和NDVI(660 nm, 760 nm)可以准确拟合冬小麦地上部分全氮和硝态氮含量, 对前者的拟合度>0.80, 对后者的拟合度>0.53。

关键词: 冬小麦; 全氮; 硝态氮; 光谱特征曲线; 单波段; 植被指数

中图分类号: S512.1; S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0104-07

长期以来, 作物的氮营养诊断和氮肥的推荐施肥都是以实验室常规测试为基础, 而传统的测试手段在取样、测定、数据分析等方面需要耗费大量的人力、物力, 且时效性差, 不利于推广应用。近年来, 遥感无损测试技术在作物氮营养诊断和氮肥推荐中得到了广泛的关注, 并且取得了很大的进展。

植株全氮含量可以直接反映作物氮素营养, 与作物产量也有很好的相关性, 所以是最好、最直接的诊断指标。大量研究表明, 冬小麦植株全氮含量与其冠层反射率有良好的相关性^[1~5]。作物硝态氮的含量在很大程度上可以反映作物吸收氮素和土壤供氮情况。因为植株茎基部硝酸盐含量能反映土壤供应氮素状况和植株氮素营养状况, 当土壤氮素过量供应时, 植株过量吸收的氮素以硝酸盐的形式积累在体内, 未被植物利用。作物硝态氮含量与相应时期冠层光谱反射率的研究较少, 同时对相同生育期作物全氮、硝态氮含量与冠层光谱反射率的相关性报道更少。

本研究通过测定冬小麦6个典型生育期冠层光谱, 系统分析了单波段反射率以及不同可见光和近红外波段组合的NDVI、RVI等8种常见植被指数与冬小麦地上部分全氮和硝态氮含量的相关性, 确定相同生育期作物全氮和硝态氮与冠层光谱反射率相关性的差异, 推荐在光谱角度对冬小麦氮素水平最敏感的表现时期, 减少多余的光谱数据, 兼顾冬小麦

养分需求时期和冠层光谱对长势的响应灵敏时期, 筛选出更能准确预测冬小麦氮素水平的单波段和植被指数, 建立具有普适性的估测方程, 以为小麦氮素水平的诊断及氮肥管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 试验地点 试验设在中国科学院封丘农业生态试验站, 位于黄河北岸的河南省封丘县潘店乡(东经114°24', 北纬35°01'), 该地区属半干旱、半湿润的暖温带季风气候。年平均降水量为605 mm, 年蒸发量1875 mm, 年平均气温为13.9℃, ≥0℃积温在5100℃以上, 无霜期220 d左右。供试土壤类型为黄河沉积物发育的轻质潮土。

1.1.2 试验材料 表层0~20 cm土壤有机质含量为10.3 g/kg, 全氮0.730 g/kg, 全磷1.39 g/kg, 全钾19.2 g/kg, 碱解氮31.2 mg/kg, 速效磷13.6 mg/kg, 速效钾57.6 mg/kg, 土壤pH为8.23。冬小麦品种为郑麦9023。2005年10月26日播种, 播种量为150 kg/hm², 2006年6月5日收获。在施基肥的同时施用过磷酸钙(P₂O₅: 80 kg/hm²)和硫酸钾(K₂O: 30 kg/hm²)。

1.1.3 肥料设计 处理1为对照; 处理2、4、8施氮量分别为100、200、300 kg/hm², 作为基肥一次性施入; 处理3、5、9按总施氮量分别为100、200、300

收稿日期: 2009-06-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2005CB121103)

作者简介: 张俊华(1977—), 女, 宁夏中卫人, 博士, 主要从事土壤与环境科学研究。E-mail: zhangjunhua728@163.com。

通讯作者: 张佳宝。E-mail: jbzhang@issas.ac.cn。

kg/hm² 基肥:追肥 = 6:4 分别于播前和返青期施入;处理 6、7、10、11 是根据两个施氮模型计算出的施氮量^[6]。各小区氮肥均施用尿素,具体施用量如表 1 所示。追肥于返青期开沟施入,施肥后覆土、灌水。每处理重复 3 次,小区面积 20 m² (4 m × 5 m),随机区组排列。

表 1 冬小麦试验处理方案

Table 1 Fertilization rates of experiment in winter wheat

处理 Treatments	基肥 Predress (kg/hm ²)	追肥 Topdress (kg/hm ²)	总施氮量 Total N rate (kg/hm ²)
1(CK)	0	0	0
2	100	0	100
3	60	40	100
4	200	0	200
5	120	80	200
6	120	56	176
7	120	73	193
8	300	0	300
9	180	120	300
10	180	52	232
11	180	99	279

1.2 光谱数据的测量及其它指标的测定

本次试验共选择了冬小麦 6 个有明显特征的生育阶段进行光谱测定:返青期(2006 年 3 月 13 日)、拔节期(2006 年 3 月 26 日)、孕穗期(2006 年 4 月 10 日)、抽穗期(2006 年 4 月 19 日)、开花期(2006 年 4 月 26 日)和乳熟期(2006 年 5 月 15 日)。冠层光谱数据测量采用美国 CROPSCAN 公司研制的便携式多光谱辐射仪(MSR-16),光谱范围 452~1 650 nm,16 个波段(460, 510, 560, 610,660, 680, 710, 760, 810, 870, 950, 1 100, 1 200, 1 300, 1 500, 1 650 nm),仪器的视场角为 31.1°,采用小键盘操作,数据记录在数据采集器(DLC Model 000, CROPSCAN, Rochester, MN)中,通过 COM 接口输入计算机,再经过仪器自带软件计算地物的光谱反射率。传感器探头安装在一个可调节长度的杆子上,测定时探头对准冠层中央,与地面平行。测定选择在晴朗无云的天气,每个小区选取长势均匀有代表性的 9 个点,取平均值代表该区的光谱值,测量时间为 10:00~14:00,探头距冠层垂直高度约 1 m。

光谱测量后迅速在每个小区齐地剪取 20 cm × 20 cm 代表性植株,烘干,过筛,蒸馏法测定地上部分全氮含量;烘干过筛后的植物样消煮后在 275 nm 和 220 nm 用 UV-1601 型紫外分光光度计比色测其吸光值,然后计算植株硝态氮含量。

1.3 几种常见植被指数的计算

尽管由红光和近红外组合而成的 RVI、NDVI 可以减弱背景反射率的影响,但对叶片叶绿素浓度和背景反射率还是比较敏感^[6],NDVI 也受到定标和仪器特性、云和云影、大气、双向反射率、土壤及叶冠背景、高生物量区饱和等因素影响,使其应用受到限制。为了减少土壤和植被冠层背景的干扰,满足在不同条件下提高植被参数的估测精度,其它一些植被指数相继被提出,表 2 为常见植被指数及其计算方法^[7,8]。

表 2 常用植被指数及其计算方法

Table 2 Vegetation indices and formulae

指数 Vegetation indices	计算公式 Formula
归一化植被指数(NDVI)	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}}$
比值植被指数(RVI)	$RVI = \frac{R_{NIR}}{R_{red}}$
绿色比值植被指数(GRVI)	$GRVI = \frac{R_{NIR}}{R_{green}}$
绿色归一化植被指数(GNDVI)	$GNDVI = \frac{R_{NIR} - R_{green}}{R_{NIR} + R_{green}}$
差值植被指数(DVI)	$DVI = R_{NIR} - R_{red}$
再归一化植被指数(RDVI)	$RDVI = \sqrt{NDVI \times DVI}$
垂直植被指数(PVI)	$PVI = \frac{R_{NIR} - aR_{red} - b}{\sqrt{1 + a^2}}$
转换型植被指数(TASVI)	$TASVI = \frac{a(R_{NIR} - aR_{red} - b)}{aR_{NIR} + R_{red} - ab}$

注:R 代表反射率;a 和 b 为土壤线性系数。

Note: R represents reflectance, while a and b mean soil linear coefficient.

2 结果与分析

2.1 冬小麦地上部分氮素含量的变化

图 1 为冬小麦地上部分植株在典型生育期全氮和硝态氮含量的变化。可以看出,从返青期到乳熟期,冬小麦地上部分氮素呈下降趋势(返青期全氮平均含量为 40.29 g/kg,乳熟期下降到 14.01 g/kg;返青期硝态氮为 1 721 mg/kg,乳熟期下降到 1 260 mg/kg)。此外,相同时期氮素含量随施氮量的增加而升高,到施氮量为 300 kg/hm² (一次性施入)时却有所下降(数据未列出)。这说明作物地上部分全氮含量并非随着施氮量的增加而呈直线上升,当施氮量增加到一定量后,继续增施氮肥不仅增大农业投入,还无法保证产量,甚至会导致环境恶化。

冬小麦在整个生育期硝态氮含量与全氮含量都呈极显著相关,只是返青期和乳熟期相关系数相对略低,但均达到极显著水平。冬小麦植株硝态氮含

量与全氮含量的密切关系为通过测定作物的硝态氮

含量来确定施氮量提供了有力依据。

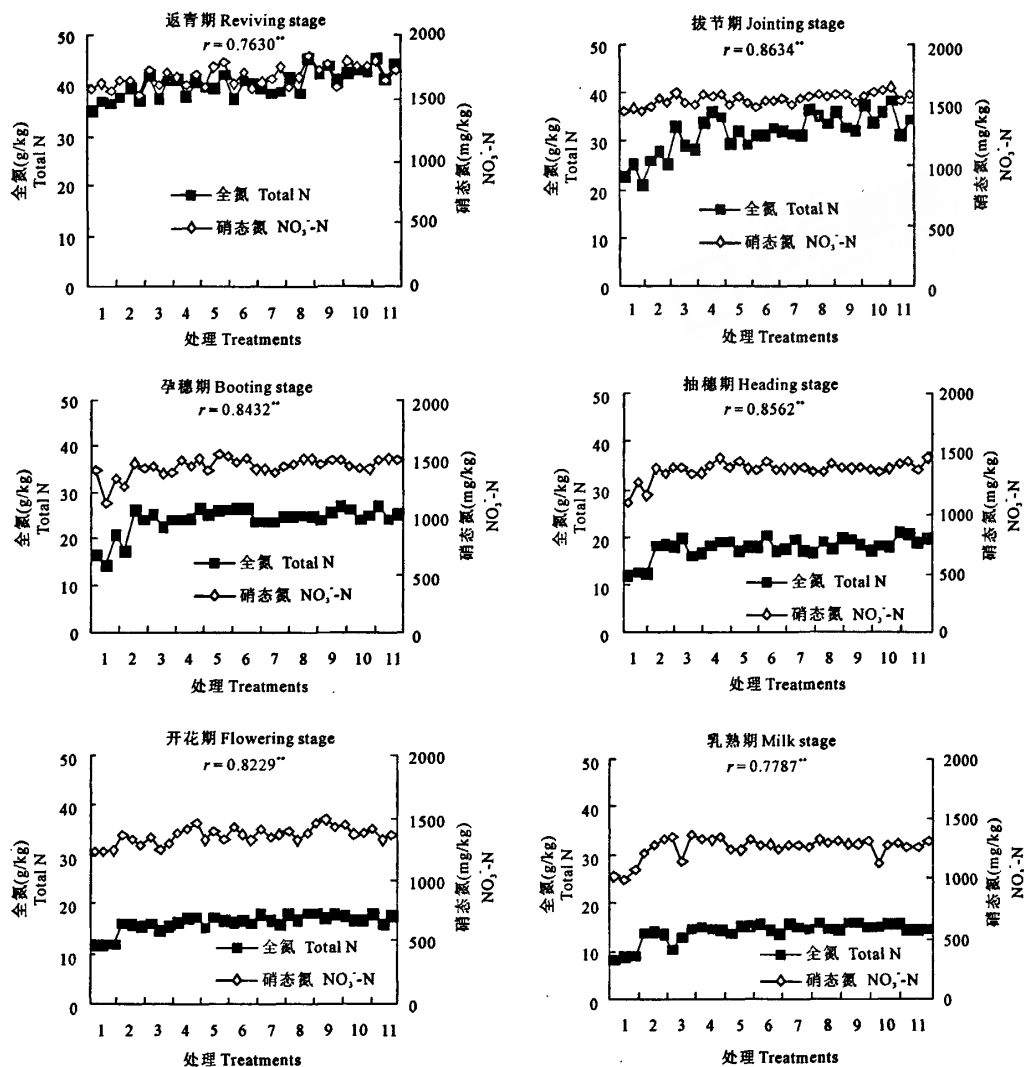


图 1 不同生育期冬小麦硝态氮与全氮含量的变化

Fig.1 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and total N content in different growth stages of winter wheat

2.2 不同氮素水平下作物冠层光谱特征

图 2 为冬小麦正常施氮处理 N200 冠层反射率从返青期到乳熟期的变化特征曲线,可以看出,冬小麦在返青期由于叶面积较小,叶绿素含量较低,生物量较小,受到土壤背景噪音很大影响,冠层反射率在可见光 560 nm 波段没有明显反射峰,在近红外区域 (760~1 300 nm) 反射率也相对较低。进入拔节期后,冠层在近红外区域的反射率逐渐增加 (孕穗期较拔节期平均增加 9.27%);在可见光波段有所降低,但降幅很小 (平均降低 0.32%)。孕穗期反射率在近红外区域迅速增大,为整个生育期最高,该时期可

见光波段的反射率和近红外区域的反射率差异最大。抽穗期在近红外区域反射率比孕穗期下降了 2%~3%。乳熟期冬小麦冠层在近红外波段的反射率降幅较大,而且反射率最高的波段由前期的 870 nm 和 950 nm 后移到了 1 100 nm,而可见光范围内反射率比开花期增加 2%~3%。这是由于孕穗后,冬小麦由营养生长的旺盛时期开始向生殖生长期过渡,叶片的养分开始向穗部转移,直到灌浆期之后下部叶片衰老、脱落,近红外区域的反射率逐渐减小而可见光范围内逐渐增大。整体来讲,从返青期到乳熟期,冬小麦冠层反射率光谱对氮肥处理的响应模

式极其一致。

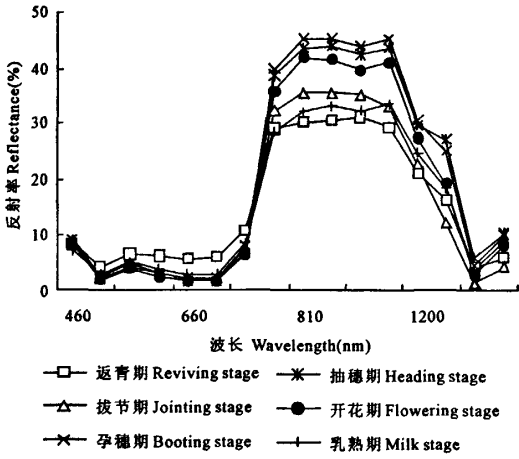


图 2 不同生育期冬小麦冠层光谱特征曲线
Fig.2 Characteristic curves of canopy spectral of winter wheat at different growth stages and N levels

氮素对作物生长和产量影响最大,因而在光谱特征曲线上,氮素反映的最为显著。作物冠层光谱在近红外波段处的反射率,随氮肥用量的增加而提高,在可见光波段处正好相反,随着氮肥用量的增加,反射率降低。图 3 为拔节期施氮处理(图中氮肥均为分两次施入)反射率参照 N0 的变化量。不同施氮量对可见光波段的反映比不同生育期的强烈,其反射率差异较大。冬小麦冠层反射率在可见光波段减少顺序为:(N100 - N0)(平均为 1.34) > (N200 - N100)(0.82) > (N300 - N200)(0.67),而在近红外区域增加顺序为:(N200 - N100) > (N100 - N0) > (N300 - N200)。因为缺氮时作物叶片细胞较小,其胞间界面也较多,在叶片内的反射次数增加,透射和吸收都相应增加,从而造成反射率较低的现象。施氮量为 300 kg/hm²(分两次施入)的处理反射率与不施氮处理情况正好相反,而处理 300 kg/hm²(一次性施入)和 200 kg/hm²(分两次施入)在近红外区域反射率几乎相等(数据未列出),说明这两个处理作物叶绿素和全氮含量相当,证明了氮肥一次性施入作物无法在短时间内吸收利用。

2.3 氮素敏感波段的确定

2.3.1 单波段反射率与植株含氮量的关系 作物冠层光谱特征是其各项农学参数的综合反映。对全生育期所有单波段与植株全氮含量的相关分析表明,全氮含量与可见光范围(510 ~ 710 nm)和近红外区域中 1 500 nm 和 1 650 nm 呈负相关关系,与近红外波段中 760 ~ 1 300 nm 呈正相关(图 4 所示)。从

返青期到乳熟期,在 510 ~ 1 100 nm 之间的各波段反射率与全氮含量都呈极显著相关,1 200、1 300、1 500 nm 和 1 650 nm 处相关性相对较差。所以,采用 510 ~ 1 100 nm 单波段反射率就可以准确估测相应时期的全氮水平。

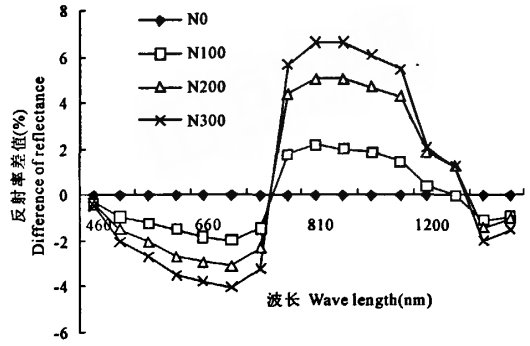


图 3 不同氮素水平冬小麦冠层反射率与
不施氮处理反射率差值

Fig.3 Difference of reflectance between other N levels and N0 of winter wheat

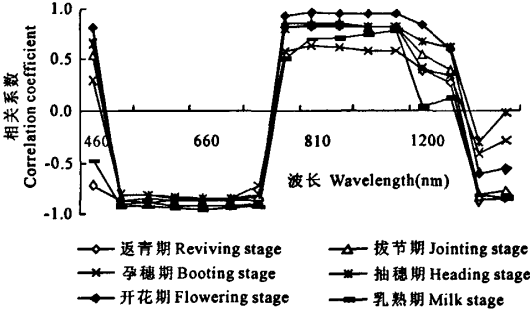


图 4 冬小麦不同生育期冠层单波段反射率与
植株全氮含量的相关性

Fig.4 Correlogram of single wavebands spectral reflectance to total N at different growth stages in winter wheat

冬小麦地上部分硝态氮含量与单波段反射率的相关性均比全氮与单波段反射率的相关性差(表 3)。相对来讲,可见光波段与硝态氮的相关性在抽穗期最强,但近红外波段却是开花期相关性最佳。各相关系数均达极显著水平。

2.3.2 常见光谱植被指数与冬小麦植株含氮量的关系 选取绿光 560 nm、红光 660 nm 和近红外 760 nm 为代表波段,计算 NDVI、RVI、GNDVI、GRVI、DVI、RNDVI、PVI、TSAVI 8 种较常见的植被指数,研究它们与冬小麦植株全氮和硝态氮含量的关系,相关系数见表 4。所列的 8 种光谱植被指数与含氮量在冬小麦整个生育期都呈极显著相关,而且在相同的生

育期各指数间与全氮含量的相关系数差异不大,与硝态氮之间亦然。与全氮含量相比,硝态氮与植被指数的相关性要差,中后期相关系数小 15% ~ 20%,但也达极显著水平,DVI 效果最差。所以,在单一作物种植、地势平坦地区,虽然采用 TSAVI、RNDVI 等演化光谱植被指数在某生育期可能更准确地估测作物的氮素水平,但 NDVI 的估测精度也完全可以达到要求。

表 3 冬小麦地上部分硝态氮含量与单波段反射率的相关性
Table 3 Correlation between single wavelengths and NO₃⁻ - N at different growth stages

生育期 Growth stage	波长 Wavelength(nm)											
	510		560		660		760		870		1100	
	r	RMSE	r	RMSE	r	RMSE	r	RMSE	r	RMSE	r	RMSE
返青期 Reviving stage	-0.60	0.13	-0.62	0.16	-0.59	0.23	0.57	0.33	0.59	0.39	0.56	0.32
拔节期 Jointing stage	-0.75	0.09	-0.74	0.13	-0.75	0.17	0.71	0.54	0.72	0.70	0.70	0.58
孕穗期 Booting stage	-0.72	0.06	-0.72	0.11	-0.74	0.11	0.52	0.53	0.55	0.71	0.52	0.67
抽穗期 Heading stage	-0.77	0.06	-0.80	0.10	-0.85	0.11	0.77	0.54	0.77	0.73	0.75	0.67
开花期 Flowering stage	-0.74	0.05	-0.77	0.09	-0.74	0.09	0.80	0.43	0.83	0.63	0.83	0.56
灌浆期 Filling stage	-0.70	0.11	-0.74	0.20	-0.77	0.16	0.66	0.21	0.78	0.36	0.71	0.35

注 Note: n = 33, r_{0.05} = 0.349, r_{0.01} = 0.449。下同。They are the same in the following.

表 4 常见植被指数与冬小麦全氮、硝态氮的相关性
Table 4 Correlation coefficients between vegetation indices and total N, NO₃⁻ - N, chlorophyll at different growth stages of winter wheat

生育期 Growth stage	NDVI	GNDVI	RVI	GRVI	DVI	RNDVI	PVI	TSAVI
全氮 Total N								
返青期 Reviving stage	0.87	0.87	0.90	0.90	0.85	0.86	0.87	0.85
拔节期 Jointing stage	0.87	0.88	0.86	0.89	0.88	0.87	0.88	0.86
孕穗期 Booting stage	0.90	0.89	0.78	0.83	0.69	0.90	0.87	0.90
抽穗期 Heading stage	0.89	0.89	0.93	0.90	0.86	0.89	0.90	0.88
开花期 Flowering stage	0.94	0.95	0.96	0.96	0.94	0.94	0.95	0.93
乳熟期 Milk stage	0.97	0.96	0.93	0.92	0.85	0.97	0.97	0.97
硝态氮 NO ₃ ⁻ - N								
返青期 Reviving stage	0.60	0.62	0.64	0.65	0.60	0.59	0.60	0.59
拔节期 Jointing stage	0.74	0.75	0.78	0.78	0.74	0.73	0.76	0.72
孕穗期 Booting stage	0.76	0.74	0.67	0.69	0.59	0.76	0.73	0.76
抽穗期 Heading stage	0.88	0.86	0.82	0.82	0.81	0.88	0.87	0.88
开花期 Flowering stage	0.75	0.79	0.84	0.85	0.80	0.74	0.77	0.74
乳熟期 Milk stage	0.80	0.79	0.72	0.73	0.71	0.80	0.80	0.81

综合考虑以上结果,本研究选择可见光 560、660 nm 和近红外 760 nm 组合而成的 NDVI 来估算冬小麦的地上部分全氮含量和硝态氮含量(表 5)。整个生育期 NDVI 对全氮和硝态氮的拟合大多以多项式方程最佳,开花期对全氮的拟合指数方程比多项式方程略好,从返青到乳熟,对全氮的拟合 $R^2 > 0.81$,均达极显著水平,而且 R^2 有随着生育期进程逐渐增大的趋势。从返青期到乳熟期,对硝态氮的拟合也达极显著水平,返青期拟合度相对略低,只达到显著水平。由于当地长期施肥量过高,目前施氮量不同造成冬小麦在生育中后期地上部分全氮含量差异很小,但是通过光谱测定能直接定量分析出冬小麦生长的这种微弱差异,这使得遥感技术在作物氮肥管理应用中表现出强大优势,在保证产量的情况下减少施氮量,提高经济效益,兼顾环境效益。

表 5 冬小麦不同生育时期 NDVI(560 nm,760 nm)、NDVI(660 nm,760 nm)对地上部分全氮含量和硝态氮含量的拟合方程
Table 5 Regression equations between NDVI(560 nm,760 nm), NDVI(660 nm,760 nm) and total N, NO₃⁻ - N of aboveground at different winter wheat growth stages

生育期 Growth stage	回归方程 Regression equation NDVI(560 nm,760 nm)	决定系数 R ²	回归方程 Regression equation NDVI(660 nm,760 nm)	决定系数 R ²
全氮 Total N				
返青期 Reviving stage	$y = 109.12x^2 - 91.82x + 55.134$	0.82	$y = 64.75x^2 - 52.96x + 46.65$	0.81
拔节期 Jointing stage	$y = 147.73x^2 - 145.38x + 56.55$	0.81	$y = 173.47x^2 - 220.65x + 92.74$	0.82
孕穗期 Booting stage	$y = -467.34x^2 + 765.55x - 287.9$	0.84	$y = -385.81x^2 + 718.53x - 308.94$	0.86
抽穗期 Heading stage	$y = 367.45x^2 - 556.39x + 222.78$	0.85	$y = 354.21x^2 - 535.4x + 214.5$	0.86
开花期 Flowering stage	$y = 1.66e^{2.8841x}$	0.91	$y = 264.33x^2 - 408.34x + 169.35$	0.92
乳熟期 Milk stage	$y = -138.58x^2 + 218.87x - 70.72$	0.94	$y = -109.43x^2 + 213.07x - 86.558$	0.95
硝态氮 NO ₃ ⁻ - N				
返青期 Reviving stage	$y = 3823.2x^2 - 3584.9x + 2423.7$	0.53	$y = 2566.1x^2 - 2519.6x + 2206.8$	0.53
拔节期 Jointing stage	$y = 2631.3x^2 - 3080.5x + 2351.9$	0.60	$y = 2335.5x^2 - 3136.9x + 2503.4$	0.61
孕穗期 Booting stage	$y = -12870x^2 + 20957x - 7087$	0.61	$y = -12281x^2 + 22874x - 9201.1$	0.61
抽穗期 Heading stage	$y = -9249.4x^2 + 14912x - 4613.2$	0.79	$y = 1573.7x^{1.056}$	0.80
开花期 Flowering stage	$y = 18753x^2 - 26571x + 10608$	0.79	$y = 22004x^2 - 36096x + 15990$	0.72
乳熟期 Milk stage	$y = -13915x^2 + 19535x - 5566.8$	0.74	$y = -16896x^2 + 27679x - 10048$	0.75

3 结 论

1) 冬小麦从返青期到孕穗期,冠层在可见光部分的反射率逐渐降低,在近红外区域的反射率逐渐升高。孕穗期冠层反射率在可见光区域最低,但在近红外区域最高,反射率在两个区域具有最大差异,返青期正好相反。

2) 各生育期作物冠层在近红外区域的反射率随施氮量的增加而增大,但当施氮量增加到一定量时,反射率又有所降低。可见光波段和1 500、1 650 nm 反射率与全氮、硝态氮呈负相关,其它近红外波段(760 ~ 1 350 nm)则呈正相关,整个研究波段在510 ~ 1 100 nm 反射率与全氮含量均达到极显著相关关系,与硝态氮的相关性低于全氮,但也达到极显著相关。任一可见光和近红外波段组成的 NDVI 和 RVI 与两个农学参量的相关性高于单波段;其中 560、660 nm 和 760、1 100、1 200 nm 组合的指数较其它指数理想,综合考虑则以 NDVI(560 nm,760 nm)最佳、NDVI(660 nm,760 nm)次之。

3) 其他几种常见的植被指数中 GNDVI 和 TSAVI 与各参量的相关性与 NDVI 和 RVI 并没有显著差异,但 DVI 效果最差。选用 NDVI(560 nm,760 nm)、NDVI(660 nm,760 nm)来拟合全氮和硝态氮含量,对全氮模拟的决定系数均达到 0.80,且随着生育期进程决定系数逐渐增大,对硝态氮的拟合效果较全氮差,但在 6 个典型生育期也都达到了极显著

水平,都能够较准确估算地上部分氮素状况。这样可以通过光谱测定来及时监测冬小麦的氮素状况,这为利用作物全氮或硝态氮含量来计算施氮量提供廉价、快速、实时的作物含氮量信息。

参 考 文 献:

[1] Blackmer T M, White S E. Using precision farming technologies to improve management of soil and fertilizer nitrogen[J]. Aust. J. Agri. Res., 1998,49(3):555—564.

[2] Prasad S T, Ronald B S, Eddy D P. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural[J]. Remote Sens. Environ., 2000,71:158—182.

[3] Osborne S L, Schepers J S, Francis D D, et al. Detection of phosphorus and nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements[J]. Agron. J., 2002,94:1215—1221.

[4] Osborne S L, Schepers J S, Schlemmer M R. Using multi-spectral imagery to evaluate corn grown under nitrogen and drought stressed conditions[J]. J. Plant Nutr., 2004,27(11):1917—1929.

[5] 谭昌伟,王纪华,郭文善,等.利用遥感红边参数估算夏玉米农学参数的可行性分析[J].福建农林大学学报(自然科学版), 2006,35(2):123—128.

[6] Daughtry C S T, Walthall C L, Kim M S, et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance[J]. Remote Sens. Environ., 2000,4:229—239.

[7] Brogen N H, Mortensen J V. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data[J]. Remote Sens. Environ., 2002,81:45—57.

[8] Scotford I M, Miller P C H. Applications of spectral reflectance techniques in northern European cereal production: A Review [J]. Biosyst. Engin., 2005,90(3):235—250.

Response of the spectral reflectance to total N and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ of winter wheat

ZHANG Jun-hua^{1,2}, ZHANG Jia-bao²

(1. Applied Research and Development Center for New Technology, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: In a field experiment that was conducted at six typical growth stages of winter wheat, we measured total N and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ of above ground and canopy spectral reflectance in different N status, then analyzed the correlation between the single wavebands, NDVI/RVI and other vegetation indices that visible light and near infrared combined and total N, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ concentration. The results showed that total N, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ of above ground and canopy spectral reflectance in near infrared increased with the increasing of nitrogen rate until 300 kg/hm² (applied one-off); There was remarkable correlation between single wavebands from 560 nm to 1 100 nm, and the correlation coefficient of vegetation index was higher than single wavebands reflectance and increased from reviving to filling stage gradually, and the former was obviously better than the latter; The ability of NDVI/RVI of 560 nm and 660 nm in visible light and 760 nm, 1 100 nm and 1 200 nm in near infrared combined were better than other wavelengths. NDVI(560 nm, 760 nm) could estimate the content of above ground total N and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ accuracy. These results indicated that canopy spectral reflectance could be used to non-destructively monitor N status in winter wheat.

Keywords: winter wheat; total N; $\text{NO}_3^- - \text{N}$; characteristic curve of canopy spectral; single wavelength; vegetation index

(上接第 82 页)

Effect of two amendments on nitrogen transformation and its related microbial during cow manure composting

MA Li-hong, HUANG Yi-mei, LI Xue-zhang, QI Jin-hua, ZHAO Zhen-zhen, LI Ping

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The composting experiment was taken to study the effect of fungi and chicken manure on changes of several main nitrogen forms and its related microbial during cow manures composting in aerated static piles. The results showed that high-temperature period was longer and increasing extent of pH during cow composting adding fungi and chicken manure was less than that in control. The maximum ammonia volatilization of high-temperature period in control, adding fungi and adding chicken manure treatments were 413, 197, and 216 mg/(kg·d). Ammonia nitrogen content was increased in high-temperature period and then decreased. The addition of fungi decreased the maximum ammonia nitrogen by 18.0% than control, and the addition of chicken manure increased the maximum ammonia nitrogen by 10.5% than control. In thermophilic period, maximum nitrate nitrogen content in adding fungi and adding chicken manure treatments were 1.85 and 1.71 times of control. At the end of composting, organic nitrogen content decreased by 19.1% and total nitrogen decreased by 21.6% than initial stage in control treatment, while organic nitrogen content increased by 4.5% and 2.2%, and total nitrogen increased by 1.7% and 5.5% than initial stage in adding fungi and adding chicken manure treatments. The addition of fungi and chicken manure were beneficial to accumulation of amino sugar nitrogen and amino acid nitrogen, and formation and retention of organic nitrogen. In the whole process, ammonifier was the most. Ammonifier and nitrifier in adding fungi and adding chicken manure treatments was more than in control treatment. In thermophilic phase, denitrifier in adding fungi treatment was more than control, and nitrogen-fixing bacteria in adding chicken manure treatments was more than control. During cooling stage, nitrogen-fixing bacteria in adding fungi treatment was more than control.

Keywords: cow manure; composting; nitrogen transformation; amendment