

# 利用光谱反射技术监测不同地力和施肥条件下小麦生长和产量的变化

薛忠财,高辉远,柳洁,宁堂原,田慎重,王瑜

(作物生物学国家重点实验室,山东省作物生物学重点实验室,山东农业大学,山东泰安 271000)

**摘要:** 通过不同地力条件下的田间试验,利用光谱分析技术动态监测了变量施肥和传统施肥条件下小麦不同生育期的冠层光谱反射率的变化,并根据由冠层光谱反射率计算的植被指数分析了不同施肥条件对小麦长势、色素含量、水分含量和产量的影响。结果表明,变量施肥和传统施肥对小麦的增产效果基本相同,但变量施肥显著降低了肥料施用量,在三块不同地力的小区,变量施肥比传统施肥分别节约施肥量15.7%、68.0%和85.6%;施用拔节肥后,通过对植被指数(*NDVI*、*OSAVI*、*WI*、*mSR705*)的分析表明,变量施肥和传统施肥处理小麦的冠层结构、叶绿素含量和水分含量均优于对照,但两种不同施肥处理之间并没有明显差别。另外,对不同施肥处理后的小麦产量和不同植被指数的相关分析表明,在挑旗期和孕穗期,冠层光谱反射的植被指数与小麦产量呈显著正相关。因此,在显著节约肥料的情况下,变量施肥与传统施肥一样可以通过改善群体结构、冠层的叶绿素含量和水分含量促进小麦的生长,达到增产的效果,并且利用反射光谱技术可以快速、有效地对小麦长势和营养状况进行动态监测。

**关键词:** 小麦;变量施肥;光谱反射;产量

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2011)02-0324-07

## Monitoring Growth and Grain Yield of Wheat in Fields with Different Soil Fertility Levels and Different Fertilizer Application Using Spectral Reflectance Technique

XUE Zhong-cai, GAO Hui-yuan, LIU Jie, NING Tang-yuan, TIAN Shen-zhong, WANG Yu

(State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271000, China)

**Abstract:** The changes of spectral reflectance of wheat canopy were studied in different soil fertility fields using spectral reflectance technique, and the effects of different fertilizer application on the grain yield, pigment content, water content and the structure of canopy of wheat were analyzed according to the vegetation indexes derived from the spectral reflectance of wheat canopy. The result showed that both the variable-rate and traditional fertilizer application increased the grain yield of wheat in the three different soil fertility fields. However, compared to the traditional fertilizer application, the variable-rate fertilizer application reduced fertilizer amount by 15.7%、68.0% and 85.6% in the three different soil fertility fields, respectively. The growth, water and chlorophyll content of wheat canopy indicated by the vegetation indexes (*NDVI*, *OSAVI*, *WI*, *mSR705*) were improved by the both variable-rate and traditional fertilizer application, but there were no differences between the both treatments. A significantly correlation was observed between the vegetation indexes at the jointing or fill-

\* 收稿日期:2010-10-13 修回日期:2010-12-25

**基金项目:**国家重点基础研究发展计划项目(No. 2009CB118505);国家自然科学基金项目(30671451、30571125);农业部公益性行业(农业)科研专项(200803028)。

**作者简介:**薛忠财(1985-),男,硕士研究生,主要从事环境生态学研究。E-mail:zhongcaix2008@163.com

**通讯作者:**高辉远(1958-),男,教授,主要从事生理生态学研究。E-mail: gaohy@sdau.edu.cn

ing stage and grain yield of the wheat. In conclusion, like traditional fertilizer application, variable-rate fertilizer application enhanced grain yield via improving canopy structure, chlorophyll and water content of canopy as well as growth, but it significantly reduced the cost. It was also demonstrated that spectral reflectance technology can be effectively used to monitor growth and nutrition status of wheat.

**Key words:** Wheat; Variable-rate fertilizer application; Spectral reflectance; Grain yield

传统的施肥方式是在一个面积相当大的田间内施用相同的肥量,由于同一块农田的土壤肥力、质地、含水量、有机质等条件往往存在很大差异,杂草、病虫害等的发生也不均匀,因此不同土壤对肥料和农药的利用率存在很大差异<sup>[1]</sup>,在不同土壤上采用同一施肥量无法达到预期的经济效益。而变量施肥技术作为精准农业的重要组成部分,是根据作物的实际需要,基于科学施肥方法,确定对作物施肥的变量投入。

氮素营养作为影响作物生长的最主要的限制因子之一,在很大程度上制约着作物产量的形成和品质的优劣。对于小麦后期的追肥,也主要以氮肥为主,但过量施氮除提高了生产成本,降低了氮素利用率外,还会导致一系列不良的环境反应<sup>[2]</sup>。因此,氮肥的科学运筹和精确调控不仅有助于确保作物产量和品质目标,还能提高氮肥利用效率,降低生产成本,减少水体污染,从而产生良好的社会、经济和生态效益。

传统的变量施肥主要是采用测土施肥<sup>[3]</sup>,这种方法虽然可以准确反应土壤和作物之间的养分供求关系,但是工作量大,费时,资金投入大,很难大范围推广使用。现在有很多学者研究叶绿素相对含量(SPAD 值)<sup>[4-5]</sup>与变量施肥之间的关系,虽然 SPAD 值可以快速估计作物个体叶片的叶绿素相对含量,但个体叶片不能很好地反映整个群体的生长状况,测定结果往往有较大的差异。

随着高光谱遥感技术的发展,通过对植物反射光谱的分析,能够实时、快速、精确、无损测定植物的叶绿素含量、营养状况、水分含量等,并且可以从植物的叶片水平、冠层水平以及生态系统等多个层面研究植物在各种条件下的生理生态变化<sup>[6-7]</sup>。这是因为当植物生长条件不一致或发生变化时,其生理、生态特性和群体结构就会发生变化,导致植物的反射光谱特征发生相应的变化,因此利用植物的光谱特征可以更加综合、客观和准确地反映其生长和产量状况。

本实验以改进的施氮优化算法为基础,在三

块不同地力的小麦试验田内进行试验,利用光谱反射技术对变量施肥和传统施肥处理后的小麦在不同生育期的冠层结构、叶绿素含量和水分含量等进行动态监测,并分析不同生育期光谱反射指标与小麦最终产量的关系,以期小麦生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设计

实验于 2008—2009 年在山东农业大学农学实验站进行,通过测定多块小麦试验田的基础地力,选取高、中、低地力的试验田各 1 块(分别以 H、M、L 表示),试验田的土壤养分含量见表 1。种植小麦品种为济麦 20,每种地力的试验田设置三种不同处理,分别为:变量施肥小区,传统施肥小区和不施肥小区。每个处理设置 3 个重复小区,小区面积为  $3\text{ m} \times 4\text{ m} = 12\text{ m}^2$ 。根据改进的施氮优化算法计算变量施肥量,并根据当地农民的传统施肥量进行传统施肥,以不施肥的小区作为对照。在小麦拔节期(4 月 15 日),根据实验设计进行不同施肥处理。

### 1.2 测定项目与方法

使用 Unispec-SC 高光谱分析仪(PP SYSTEMS, USA)进行小麦冠层光谱的测定。测定波长范围为  $310 \sim 1\,130\text{ nm}$ ,光谱分析仪探头顶部安装视角调节器,并用支架将探头固定在距小麦冠层顶部 2 m 的高度,扫描面积为  $0.39\text{ m}^2$ 。测量时,为排除自然光变化的影响,随时用标准白板进行校正。于 4 月 15 日中午 11:00—14:00 测定小麦冠层光谱反射率,计算出指导施肥量,并于当天施用拔节肥。在施拔节肥后,分别在小麦挑旗期、孕穗期、开花期、灌浆期和成熟期,选择晴朗无云的天气,于中午 11:00—14:00 测定小麦冠层反射光谱。每个小区测定 20 次,取平均作为此小区冠层光谱反射值。

小麦成熟后,每个处理收获  $1\text{ m}^2$  的小麦进行产量的测定,重复测定 3 次。

### 1.3 数据处理

试验中的指导施肥量是考虑到我国北方冬小麦的栽培特点,利用改进的氮肥优化算法计算氮肥施用量<sup>[8-9]</sup>,具体算法如下

(1) 氮肥需要量计算公式(单位为  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

$$R = 23.9 \times (YPN - YP0) / \eta$$

式中,23.9 为小麦的含氮量,YP0 为没有施加肥料的农田潜在产量,YPN 为施加氮肥后农田的潜在产量, $\eta$  为一个与氮肥利用率有关的系数,根据大量的实验结果,推荐值为 0.6。

(2) 没有施加肥料的农田潜在产量的计算

$$YP0 = 0.359e^{324.4 \text{ INSEY}}$$

式中,INSEY 为当季估产系数。

(3) 当季估产系数 INSEY 的计算

$$\text{INSEY} = \text{NDVI} / \text{DAYS above } 0$$

式中,DAYS above 0 指从播种到光谱测定之间的日平均温度稳定高于  $0^\circ\text{C}$  的天数。由于北方冬天气温较低,小麦不能吸收营养,所以 DAYS

above 0 的计算由第二年 1 月份左右开始计算。气象资料显示从 1 月份到 4 月 15 日平均气温高于  $0^\circ\text{C}$  的天数为 78 d。根据 4 月 15 号测定的小麦冠层光谱计算  $\text{NDVI}^{[10]}$ :  $\text{NDVI} = (R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$ 。

(4) 施加氮肥后的潜在产量的计算

本实验以济麦 20 的平均产量为施肥后农田的潜在产量:  $YPN = 7.65 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(5) 施肥量的计算(单位为  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 在拔节期主要施入尿素,其含氮量约为 45%)

$$m = R / 0.45$$

(6) 根据上述公式计算每小区的变量施肥量,根据调查得出,当地农民拔节肥的传统施肥量为  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。不同施肥处理的施肥量见表 2。

选择被广泛应用和证明的植被指数(表 3),用于研究不同施肥对小麦生理的影响,并将不同的植被指数和产量进行相关分析。

表 1 试验田不同小区土壤养分含量

Table 1 Nutrient content of soil in different experimental plots

地力水平 Soil fertility level	有机质 Organic matter / ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮 Total N content / ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	碱解氮 Available N / ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾 Available potassium / ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效磷 Available phosphorus / ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
L	6.63	0.62	64.91	38.64	67.54
M	10.27	0.87	83.46	40.24	88.32
H	12.46	1.13	95.34	45.37	102.69

L: low; M: moderate; H: high. The same are as in the following.

表 2 不同处理的施肥量

Table 2 Quantity of fertilizer supplied at different treatments

地力水平 Soil fertility level	施肥量 Quantity of fertilizer / ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )			节约肥料 Saving of fertilizer / %
	对照 Control	变量施肥 Variable-rate fertilization	传统施肥 Traditional fertilization	
L	0	252.76	300.00	15.7
M	0	95.94	300.00	68.0
H	0	42.94	300.00	85.7

表 3 本研究使用的植被指数计算公式

Table 3 The algorithm of vegetation indexes

植被指数 Vegetation index	计算方法 Algorithm of vegetation index
归一化植被指数 <sup>[10]</sup> Normalized difference vegetation index, NDVI	$\text{NDVI} = (R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$
优化土壤调节植被指数 <sup>[11]</sup> Optimal soil adjust vegetation index, OSAVI	$\text{OSAVI} = (1 + 0.16) * (R_{810} - R_{680}) / (R_{810} + R_{680} + 0.16)$
水分指数 <sup>[12]</sup> Water index, WI	$\text{WI} = R_{900} / R_{970}$
修改比值植被指数 <sup>[13]</sup> The modified simple ratio vegetation index, mSR <sub>705</sub>	$\text{mSR}_{705} = (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705} - 2 * R_{145})$

$R_x$  为对应  $x$  波长处的反射率。  $R_x$  is the spectral reflectance at wavelength  $x$ .

用 Excel 对数据进行处理, SPASS16.0 进行多重比较, Sigma Plot 10.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥条件对小麦产量的影响

在变量施肥和传统施肥条件下,不同地力小区的小麦产量比对照产量增加 9%~12%(表 4),三个对照小区产量也不同,地力水平高的小区比地力水平低的产量高 15%(表 4)。但在所有不同地力小区中,变量施肥和传统施肥对小麦产量的影响没有明显差异。

### 2.2 不同施肥条件对小麦冠层光谱反射率的影响

小麦冠层光谱反射率在不同施肥条件下(变量施肥、传统施肥和不施肥)表现出明显差异(图 1)。在可见光波段,不施肥的小麦冠层光谱反射

率最高,而传统施肥和变量施肥条件下小麦的冠层光谱反射率逐渐降低;在近红外波段,传统施肥

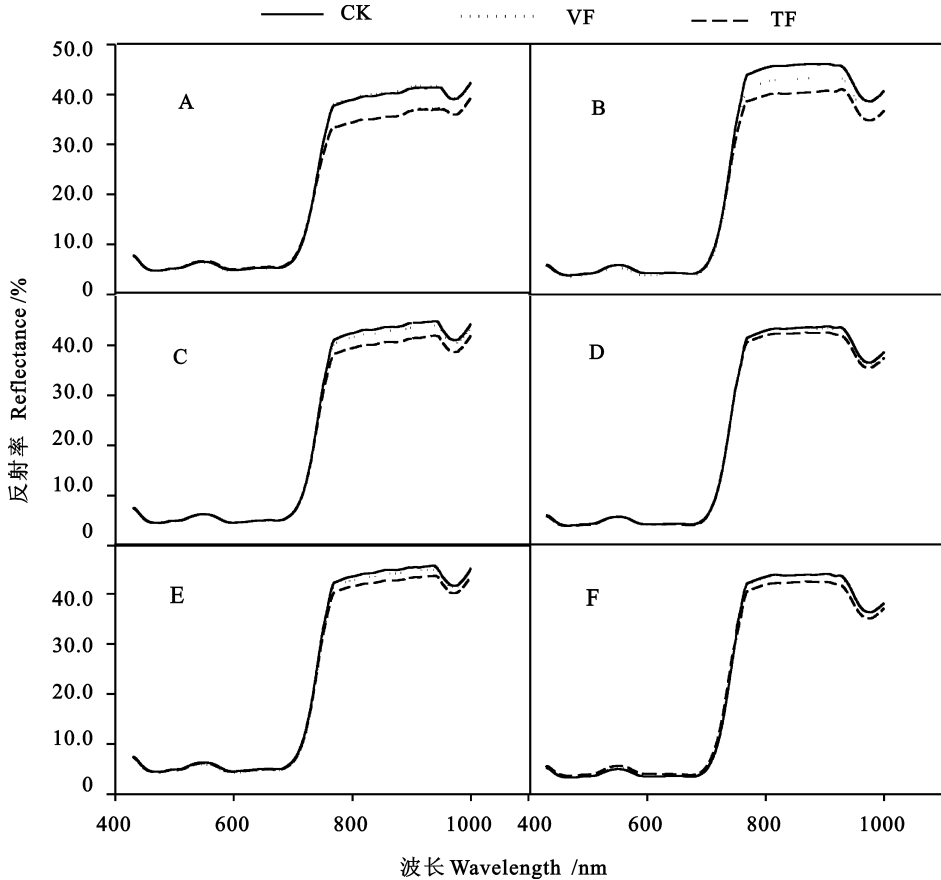
表 4 不同施肥条件下小麦的产量

Table 4 The grain yield of wheat in field with different fertilizations

产量 Grain yield / (kg · hm <sup>-2</sup> )	地力水平 Soil fertility level		
	L	M	H
对照 Control	6087.6b	7019.6b	7164.8b
变量施肥 Variable-rate fertilization	6612.8a	7883.3a	7919.6a
传统施肥 Traditional fertilization	6675.1a	7884.1a	7932.3a

同列数据后不同的小写字母表示差异显著。

Different letters behind each data in the same line indicate difference significant at the 0.05 levels, respectively.

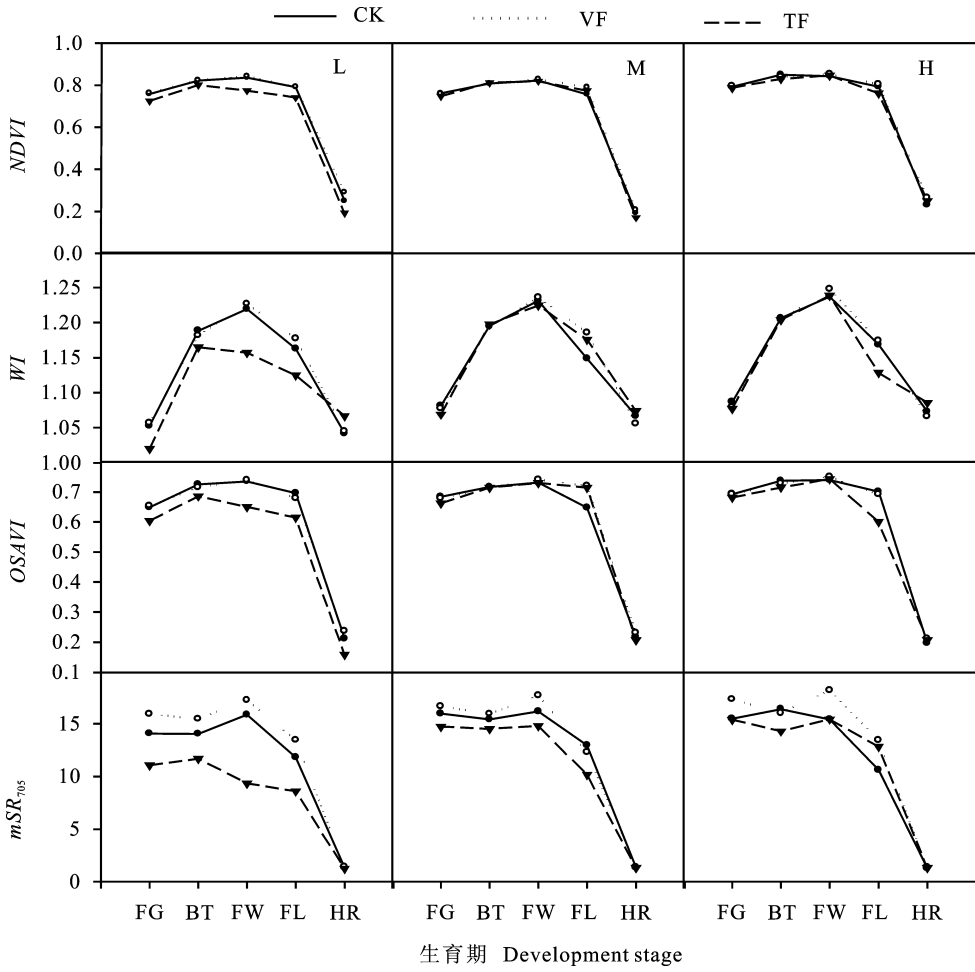


CK 为对照;VF 为变量施肥处理;TF 为传统施肥处理。图中 A、C、E 和 B、D、F 分别为低、中、高地力条件下,在施用不同拔节肥后小麦挑旗期和孕穗期的冠层反射光谱。

CK indicates control, VF indicates variable-rate fertilization, TF indicates traditional fertilization. A, C, E and B, D, F are the canopy spectral reflectance of wheat at different soil fertility with different fertilization at Jointing and Filling stages, respectively.

图 1 不同施肥条件下挑旗期和孕穗期小麦冠层的光谱反射率

Fig. 1 The canopy spectral reflectance of wheat at Jointing and Filling stages with different soil fertility treatments



CK 为对照;VF 为变量施肥处理;TF 为传统施肥处理;FG:挑旗期;BT:孕穗期;FW:开花期;FL:灌浆期;HR:成熟期

CK indicates control;VF indicates variable-rate fertilization;TF indicates traditional fertilization. FG: flag;BT: booting;FW: flowering;FL: fulling;HR: harvest

图 2 不同施肥条件下各种植被指数随生育期的变化

Fig. 2 The changes of different vegetation indexes with development of wheat at different fertilization plots

表 5 不同生育期不同植被指数与产量的相关系数 (n=9)

Table 5 Correlation coefficients between grain yield of wheat and different vegetation indexes (n=9)

参数 Parameters	挑旗期 Flagging	孕穗期 Booting	开花期 Flowering	灌浆期 Filling	成熟期 Harvesting
NDVI	0.91**	0.78**	0.70*	0.62*	0.45
OSAVI	0.92**	0.69*	0.66*	0.39	0.43
WI	0.91**	0.81**	0.77**	0.43	0.28
mSR <sub>705</sub>	0.80**	0.84**	0.66*	0.46	0.31

表中做相关分析的数据来自三个不同地力以及不同施肥处理的小区。\* 表示 0.05 水平显著相关; \*\* 表示 0.01 水平显著相关。

The correlation was analyzed with data collected from plots with different fertilizations in three different fertility soils. \* indicates correlation significant at 0.05 level, \*\* indicates correlation significant at 0.01 level.

的小麦的冠层光谱反射率最高,变量施肥的次之,不施肥的最低。

### 2.3 不同施肥条件下各种植被指数随生育期的变化

随着施肥的变化,三个不同肥力的小区小麦

的植被指数 NDVI、OSAVI、mSR<sub>705</sub> 和 WI 等均表现出相同的变化趋势(图 2)。从拔节期到开花期逐渐上升,开花期以后逐渐下降,到成熟期降至最低。在这三个不同肥力的小区中,变量施肥和传统施肥条件下的植被指数都高于对照,但两种

施肥处理的小麦之间没有显著差异。

## 2.4 不同生育期不同植被指数与产量的相关性

对不同时期的  $NDVI$ 、 $WI$ 、 $OSAVI$ 、 $mSR_{705}$  与产量的相关分析表明,在挑旗期和孕穗期与产量达到极显著相关;开花期和灌浆期与产量显著相关;而灌浆期和成熟期与产量没有相关性(表5)。

## 3 讨论与结论

本研究表明,在三个不同地力的小区,虽然变量施肥比传统施肥分别节约了 15.7%、68.0% 和 85.6% 的施肥量(表2),但变量施肥对小麦产量的增产效果却与传统施肥相同(表4)。小麦拔节期施用氮肥可提高植株叶片叶绿素含量、改善光合功能、延长叶片功能期、增加光合产物积累,促进物质积累和籽粒灌浆<sup>[14-15]</sup>。但当氮肥施用量超过小麦生育后期对氮肥的需要量,则会导致小麦贪青晚熟,同时造成硝态氮大量淋溶,降低了肥料的利用效率<sup>[16-17]</sup>。而变量施肥根据小麦的长势反映出土壤的肥力,对小麦后期的需肥量进行估计,从而极大地提高了肥料利用效率,使小麦更好的吸收氮素,建立一个较为合理的群体,为有效提高光合面积、改善群体的通风透光性奠定了基础,提高了肥料的利用效率,降低了肥料施用量,节约了成本。

根据冠层光谱反射率,由可见光波段和近红外光波段反射光谱经不同组合而构成的不同植被指数,是监测地表植被覆盖和长势的重要指标,可用于反映不同的营养状况和群体结构信息。其中, $NDVI$  作为大尺度监测植物群体和生态系统发展的重要植被指数,与叶面积、光合有效辐射、生物量、净光合产物等<sup>[18-19]</sup> 具有密切的关系。然而,由于  $OSAVI$  消除了土壤背景的干扰,所以能够更好的反映作物的长势情况。本实验结果也表明, $OSAVI$  比  $NDVI$  更为敏感,变量施肥和传统施肥在低地力水平显著提高了小麦的植被覆盖度和有效叶面积,而在中、高地力条件下差异不明显。另外,对照在灌浆期  $OSAVI$  明显下降,而变量施肥和传统施肥没有降低,且二者之间基本相同,说明施肥后小麦在后期长势明显好于对照。

由于  $mSR_{705}$  消除了叶片结构对反射的影响,被广泛用于植物冠层和叶片水平的叶绿素含量测定<sup>[20]</sup>。小麦的叶绿素含量从挑旗期到灌浆期逐渐升高,而在灌浆期以后开始降低,到成熟期降至

最低。在不同的施肥条件下,传统施肥和变量施肥处理的小麦叶绿素含量高于对照。因为光合作用是小麦产量形成的最终基础,而叶绿素是叶绿体捕获光能的重要色素,所以施用拔节肥后,小麦冠层叶绿素含量显著提高,为小麦产量的提高奠定了基础。现已证明  $WI$  可以灵敏地反映叶片水分相对含量、叶片水势、气孔导度和细胞壁弹性,在本研究中  $WI$  被用来监测小麦冠层的水分状况。在开花期时小麦冠层的含水量达到最大,而成熟期时降至最低。同时,传统施肥和变量施肥处理的小麦冠层的含水量明显高于对照,二者之间并没有明显差异,这表明变量施肥和传统施肥有效地改善了小麦群体对水分的吸收,而良好的水分供应又能进一步改善植株对肥料的利用。

另外,通过对不同生育期的植被指数与产量的相关分析表明,拔节期和孕穗期的植被指数与小麦的产量的相关系数达到极显著水平;而随着生育期的推进,虽然开花期的植被指数与产量的相关系数仍然达到了显著水平,但相关系数值逐渐变小;在灌浆期和成熟期,由于小麦衰老,叶片变黄,光合色素降解,小麦冠层结构受到破坏,对光的吸收和反射也发生变化,各种植被指数与小麦产量之间没有相关性。因此,利用拔节期和孕穗期的植被指数可以有效进行产量的预测。

本实验动态监测了不同地力水平下变量施肥和传统施肥处理后的小麦不同生育期的冠层光谱反射率的变化。由此得出,根据小麦冠层反射光谱反射率以及由其计算的植被指数,可以有效、快速、无损伤地对小麦的长势和营养状况进行测定,并且可以用于估测不同地力或施肥条件下小麦的产量。另外,在保证与传统施肥同样增产的前提下,根据植被反射光谱的变量施肥显著降低了肥料施用量、极大地提高了肥料利用效率,节约了成本,并为精准农业的发展提供了方法和理论依据。

## 参考文献:

- [1]安凯. 精准农业农田地理信息系统设计[J]. 中国生态农业学报, 2003, 10(1): 66-69.
- [2]刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [3]赵伟, 谢德体, 刘洪斌. 精准农业中土壤养分分析的适宜取样数量的确定[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 318-322.
- [4]童淑媛, 宋凤斌. SPAD 值在玉米氮素营养诊断及推荐施肥中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(2): 233-238.
- [5]蒋阿宁, 黄文江, 刘克礼. 利用叶绿素计进行冬小麦变量施肥

及其效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1092-1097.

[6]王珂, 沈掌泉, 王人潮. 植物营养胁迫与光谱特性[J]. 国土资源遥感, 1999, 39: 9-14.

[7]赵德华, 李建龙, 宋子健. 高光谱技术提取植被生化参数机理与方法研究进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 93-99.

[8]Solie J B, Raun W R, Whitney R W, *et al.* Optical sensor based field element size and sensing strategy for nitrogen application [J]. Transactions of the ASABE, 1996, 39(6): 1983-1992.

[9]杨玮, 王秀, 马伟, 等. 基于近地光谱探测技术的冬小麦变量施肥[J]. 吉林大学学报(工学版), 2007, 37(6): 1455-1459.

[10]Sims D A, Luo H, Hastings S, *et al.* Parallel adjustments in vegetation greenness and ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in response to drought in a Southern California chaparral ecosystem [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 103(3): 289-303.

[11]Penuelas J, Pinol J, Ogaya R. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970) [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(13): 2869-2875.

[12]Genevieve R, Michael S, Frederic B. Optimization of soil-adjusted vegetation indices [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 55: 95-107.

[13]Sims D A, Gamon J A. Relationships between leaf content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 337-354.

[14]郝代成, 高国华, 朱云集, 等. 施氮量对超高产冬小麦花后光合特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 346-352.

[15]岳寿松, 于振文, 余松烈. 不同生育时期施氮对冬小麦氮素分配及叶片代谢的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 811-815.

[16]王维, 张建华, 杨建昌, 等. 适度土壤干旱对贪青小麦茎鞘贮藏性糖运转及籽粒充实的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(10): 1019-1025.

[17]薛晓辉, 郝明德. 小麦氮磷肥长期配施对土壤硝态氮淋溶的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 918-925.

[18]Boelman N T, Stieglitz M, Rueth H M, *et al.* Response of NDVI, biomass, and ecosystem gas exchange to long-term warming and fertilization in wet sedge tundra [J]. Oecologia, 2003, 135: 414-421.

[19]Gitelson A A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation [J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161: 165-173.

[20]彭涛, 李鹏民, 贾裕娇, 等. 介绍两种无损测定植物活体叶片色素含量的方法[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42: 83-86.



## 引用本刊文章的简便著录方法

亲爱的读者朋友：

本刊创刊以来的全文已全部上载到本刊网站(<http://www.tcrop.net>), 欢迎下载使用(免费)。检索和引用方法如下：

(1)在本网站首页中部点击“高级检索”或“过刊浏览”，查找到您需要阅读和引用的文章，如“小麦 TaUCHs 基因的克隆和特性分析”，点击文章题目；

(2)在新出现界面的文章题目下，会出现参考文献格式的该文有关信息，具体如下

引用本文：秘彩莉, 郭光艳, 张晓, 田彦辉. 小麦 TaUCHs 基因的克隆和特性分析[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(6): 1001-1005.

(3)粘贴“引用本文：”后面的内容到您所撰写论文的参考文献列表中即可。

《麦类作物学报》编辑部