

## 利用冠层反射光谱预测小麦籽粒品质指标的研究

薛利红 朱艳 张宪 曹卫星<sup>\* \*</sup>

(南京农业大学江苏省信息农业高技术研究重点实验室, 江苏南京 210095)

**摘要** 以两个专用小麦品种为材料,系统分析了小麦花后冠层反射光谱特征和籽粒品质形成的动态变化规律以及两者之间的关系。结果表明,花后冠层光谱反射率在可见光波段逐渐升高,而在近红外波段逐渐降低。开花期反射光谱与籽粒品质指标相关较好,但用来直接预测籽粒品质还存在一定的局限性。由于反射光谱能可靠推断叶片氮素状况,而叶片氮素状况与籽粒蛋白质含量、干湿面筋含量相关极显著,因此可以用冠层光谱指数来间接预测籽粒品质指标,其中籽粒蛋白质含量的预测值和实测值之间的决定系数( $R^2$ )达0.88。说明通过遥感手段来预测小麦籽粒品质指标是可行的。

**关键词** 普通小麦;冠层反射光谱;叶片氮素状况;籽粒品质  
中图分类号: S512

## Predicting Wheat Grain Quality with Canopy Reflectance Spectra

XUE Li-Hong, ZHU Yan, ZHANG Xian, CAO Wei-Xing<sup>\*</sup>

(High-tech Key Laboratory of Information Agriculture, Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

**Abstract** Dynamic trends of canopy spectral reflectance and grain quality formation, and their relationships in two wheat cultivars were analyzed. The results showed that reflectance increased at visible bands while decreased at NIR bands after flowering. Canopy spectra at flowering were best related to grain quality index, but the prediction of grain quality index using the relationship was not satisfied. Leaf nitrogen status was closely related to grain protein content, wet and dry gluten content in wheat, and it could be reliably estimated from canopy spectra. Thus, canopy spectra can be used to indirectly predict grain quality index. The fitness of estimated and tested grain protein content was good with  $R^2$  of 0.88. This indicates that it is feasible to predict grain quality index in wheat by using remote sensing technique.

**Key words** Wheat; Canopy reflectance spectra; Leaf nitrogen status; Grain quality

小麦籽粒品质的优劣是由品种特性与栽培环境共同决定的。国产小麦尽管不乏各种优质类型,但由于缺乏品质区划及标准化栽培技术,造成同一品种在不同条件和不同地块间品质差异较大,混合收获也使加工品质大大降低。面粉加工企业迫切需要在收获前对小麦品质进行快速低成本检测。室内检测分析方法虽然较为准确,但其破坏性的多点采样费时、费工,且检测成本较高。遥感技术的发展使利用遥感信息反演作物体内生化组分含量进而监测品质成为可能,这对生产上小麦品质的监测预报、调优栽培和分类加工的实施有重要指导作用。Humburg等用3个波段组合(500 nm、550 nm和830 nm)建立了甜菜的品质监测模型,能够预测糖、钠及胺态氮含

量<sup>[1]</sup>。Matsunaka<sup>[2]</sup>等对用叶色来推断成熟期小麦籽粒蛋白质含量的可行性进行了研究,发现当抽穗末期用叶绿素仪测得的倒二叶叶色值小于40时,小麦籽粒蛋白质含量可能低于日本面条的加工标准,这一指数适用于除泥炭土地块外的北海道东部地区。王纪华等利用冠层光谱反射率对叶片生化组分和籽粒蛋白质及干面筋含量进行了初步的估算研究<sup>[3]</sup>。迄今为止,利用冠层反射光谱来全面准确地反衍小麦籽粒品质指标的研究还不多见。为此,本文以两个不同蛋白质含量的小麦品种为材料,系统地分析了不同氮肥水平下小麦抽穗后冠层反射光谱特征及籽粒品质形成的动态特征,并对两者之间的量化关系进行了探讨,以期对小麦籽粒品质监测提供一些

\*基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(30030090)、国家863计划资助项目(2003AA209030)、江苏省自然科学基金(BK2003079)和高校博士点基金(200307017)资助项目。

作者简介:薛利红(1977-),女,博士,主要从事作物遥感监测和信息农学方面的研究。\*通讯作者:曹卫星。E-mail: caow@njau.edu.cn

Received(收稿日期):2003-05-26, Accepted(接受日期):2003-12-22.

理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2001 - 2002 年在南京农业大学校园网室内的水泥池中进行。土壤为黄棕壤土,有机质 1.21%,全氮 0.13%,速效氮 29.2 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 29.5 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 72.3 mg·kg<sup>-1</sup>。用 2 个品种,徐州 26(高蛋白)和淮麦 18(低蛋白);4 个施氮水平,N0 不施氮肥,N1 施氮 12 g N·m<sup>-2</sup>,N2 施氮 21 g N·m<sup>-2</sup>,N3 施氮 30 g N·m<sup>-2</sup>,小区面积 4 m<sup>2</sup>(2.4 m × 1.68 m),两因素随机区组排列,重复 3 次。氮肥的基追比为 1:1。磷、钾肥施用量分别为 12 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·m<sup>-2</sup>和 15 g K<sub>2</sub>O·m<sup>-2</sup>,全部作基肥。基本苗 150 万/hm<sup>2</sup>,行距 24.5 cm。其他栽培管理同小麦高产栽培。

### 1.2 冠层光谱测量及光谱参数的计算

冠层光谱数据采用美国 Cropscan 公司生产的 MSR-16 型便携式多光谱辐射仪进行测量,测量范围为 452 ~ 1 650 nm,16 波段,仪器视场角为 31.1°。在小麦开花后每隔 5 ~ 7 d 进行一次光谱测量。测量选择在晴朗无云的天气进行,观测时间为 11:00 ~ 14:00 之间。测量时探头垂直向下,距冠层顶部垂直高度约 1.5 m。每小区固定测量 3 点,每点重复测量 5 次,取平均值作为该小区光谱测量值。并系统计算从可见光波段到短波红外波段共 16 个波段的所

有比值和归一化指数。计算公式如下:

$$\text{比值指数 } R(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{r_1}{r_2}; \text{归一化指数}$$

$$ND(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{L_{\lambda_1} - L_{\lambda_2}}{L_{\lambda_1} + L_{\lambda_2}}$$

其中,  $r$  表示反射率,  $\lambda$  表示波段。

### 1.3 农学参数的测量及籽粒品质分析

与光谱测量同步,每小区取有代表性植株 5 ~ 8 株,带到室内测定分析各器官(茎鞘、叶片、颖壳+穗轴和籽粒)的干物重及氮含量(百分含量),并计算各器官的氮积累量(干重与氮含量的乘积,单位为 g·m<sup>-2</sup>)。成熟时,每小区收取 2 份 1 m 行长的穗子,脱粒,晒干,种子经 1 个月的生理后熟后,根据已有分析方法<sup>[4,5]</sup>,对以下品质指标进行分析,结果见表 1。

(1) 蛋白质含量(全麦粉/面粉)(%):用凯氏微量定氮法测定。

(2) 湿面筋含量(%):用 JJJM-54-115 面筋测定仪,按 GB/T 14608-93 法测定。

(3) 干面筋含量(%):按 GB/T 14607-93 小麦粉干面筋测定法测定。

(4) 直链淀粉含量(%):按碘比色法测定,以占总淀粉含量表示。

(5) 沉降值(mL):按 GB/T 15685-1995 法测定。

(6) 降落值(S):用 JLZ-II 型降落值仪,按 GB 10361-89 谷物降落值测定法测定。

表 1 小麦籽粒品质指标性状取值范围

Table 1 Value range of wheat grain quality traits

品种 Cultivar	蛋白质含量 Protein content (%)	干面筋含量 Dry gluten (%)	湿面筋含量 Wet gluten (%)	直链淀粉 Amylose content (%)	沉降值 Sedimentation value (mL)	降落值 Falling number (S)
淮麦 18	9.78 - 13.82	9.3 - 12.6	26.11 - 37.60	22.27 - 38.30	37.5 - 44.7	325.5 - 388.5
Huaimai 18	(9.76%)	(8.74%)	(10.52%)	(15.80%)	(4.73%)	(5.96%)
徐州 26	11.36 - 15.00	9.4 - 14.1	25.49 - 44.84	23.94 - 35.21	37.5 - 44.3	286 - 350.5
Xuzhou 26	(9.72%)	(12.81%)	(14.60%)	(11.60%)	(5.34%)	(5.68%)

注:括号里的数值代表变异系数。Note: Values in parentheses are coefficients of variation.

## 2 结果与分析

### 2.1 抽穗后冠层反射光谱的变化

小麦冠层反射率在开花后的变化规律十分明显,可见光波段反射率逐渐升高,近红外波段反射率逐渐降低,尤其是 680 nm 波段,由开花时的 2 上升到成熟时的 10(图 1)。从图中还可看出,各波段反射率的变化导致冠层反射光谱波形也出现了相应的变化。到成熟期,由于植株衰老变黄,红光波段(680 nm)处因反射率较低形成的吸收谷和绿光波段(560

nm)处的反射峰已消失不见,近红外波段的高反射平台也变得不再明显。这一变化趋势在两品种间表现一致。

### 2.2 抽穗后各器官氮含量和氮积累量的变化规律

从图 2 中可以看出,小麦营养体各器官开花后氮含量与氮积累量的变化趋势基本一致,均以开花期最高,随着籽粒的灌浆成熟,氮含量与积累量逐渐下降,成熟时降至最低。其中,茎鞘中氮积累量在花后 10 d 稍微有所提高,随后呈下降趋势。籽粒中氮含量变化呈高-低-高的“V”型曲线,在花后 20 d 左右

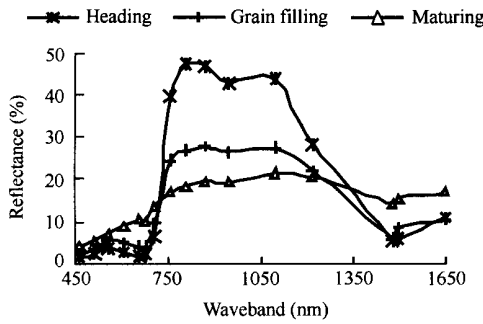


图1 花后淮麦18冠层反射光谱的变化

Fig.1 Changes of post-anthesis canopy spectral reflectance in Haimai 18

降至最低,以后至成熟又逐渐回升。而籽粒氮积累量在开花后则逐渐增加,至成熟时达到最高值,呈“S”型变化曲线。徐麦26的变化规律同淮麦18。这表明花后叶片和茎鞘等营养器官中贮存的氮素逐渐

向籽粒运转。其中,叶片的氮素转运量(即开花时氮积累总量与成熟时氮积累总量之差)最高,其次为茎鞘的,穗轴+颖壳的最低。

2.3 冠层反射光谱指数与叶片氮含量及氮积累量的关系

进一步分析小麦花后不同时期叶片氮含量和氮积累量与冠层反射光谱特征之间的关系,发现在任一生育阶段,叶片氮含量和氮积累量与比值和归一化指数均呈极显著的正相关关系(表2),且两个品种表现一致,可以用一个方程来拟合。其中开花期表现最好( $R^2 > 0.80$ ),其次为黄熟期。研究还发现,与叶片氮含量和氮积累量相关性最好的比值指数和归一化指数具有相同的波段组成。其中,除了蜡熟期与叶片氮含量相关最好的为近红外波段(810 nm)与近红边波段(710 nm)的组合外,其余均为中红外波段与可见光波段的组合。

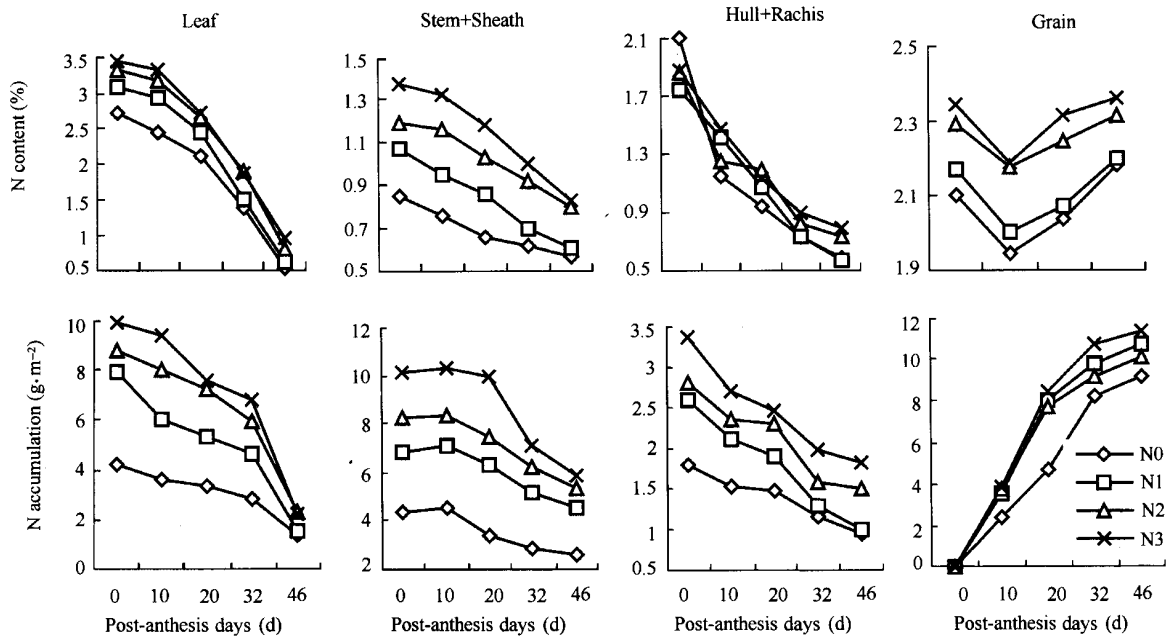


图2 淮麦18花后各器官氮含量与氮积累量的动态变化

Fig.2 Changes of N content and N accumulation in leaves, stem + sheath, hull + rachis and grains in Haimai 18

表2 不同生育时期小麦叶片氮含量和叶片氮积累量与比值和归一化指数的最佳回归方程(n=24)  
Table 2 The best regression equation of leaf N content (LNC) and leaf N accumulation (LNA) to ratio or normalized difference (ND) index at different growth stages of wheat

	生育时期 Growth stage	比值指数	回归方程	$R^2$	归一化指数	回归方程	$R^2$
		Ratio index	Regression equation		ND index	Regression equation	
叶片含氮量 LNC	开花期 Flowering	R(1650,560)	$Y = 1.2622 X^{0.6465}$	0.82	ND(1650,560)	$Y = 0.2186 X^{0.6267}$	0.82
	乳熟期 Milky ripe	R(1100,710)	$Y = 1.6671 X + 1.8819$	0.68	ND(1100,710)	$Y = 0.0561 X + 0.5754$	0.68
	蜡熟期 Waxen ripe	R(810,710)	$Y = 2.2546 X - 0.4994$	0.64	ND(810,710)	$Y = 0.1028 X + 0.4128$	0.62
	黄熟期 Physiological ripe	R(1500,510)	$Y = 0.8646 X + 1.1617$	0.75	ND(1500,510)	$Y = 0.1332 X + 0.2186$	0.75
叶片氮积累量 LNA	开花期 Flowering	R(1650,610)	$Y = 0.4152 X^{2.1971}$	0.88	ND(1650,610)	$Y = 43.121 X^{3.1277}$	0.85
	乳熟期 Milky ripe	R(1100,680)	$Y = 0.8716 X + 13.991$	0.75	ND(1100,680)	$Y = 0.0045 X + 0.8727$	0.73
	蜡熟期 Waxen ripe	R(1220,560)	$Y = 0.3751 X + 4.7132$	0.67	ND(1220,560)	$Y = 0.014 X + 0.6625$	0.65
	黄熟期 Physiological ripe	R(1500,460)	$Y = 3.1489 X^{0.195}$	0.75	ND(1500,460)	$Y = 0.5215 X^{0.1117}$	0.74

## 2.4 小麦叶片氮素状况与籽粒品质指标的关系

小麦籽粒品质的主要指标有蛋白质含量、淀粉含量与面筋含量等。分析这些指标与开花后叶片氮素含量的关系(表3),发现除了淀粉与叶片氮素状况负相关外,其余品质指标均呈正相关关系,其中蛋白质含量、干面筋、湿面筋和沉降值等指标的相关性较好,在花后几个时期都达到了极显著水平。其中,

蛋白质含量和湿面筋以开花期的相关性最高,干面筋与沉降值则以乳熟期最高。面筋指数和叶片全氮含量在乳熟期和蜡熟期也达到了极显著水平。图3列出了小麦开花期叶片氮积累量与籽粒蛋白质含量、干面筋含量和湿面筋含量的回归方程, $X$ 为小麦叶片氮积累量, $Y$ 为相应的籽粒品质指标,决定系数分别为0.88、0.83、0.77。

表3 小麦籽粒品质指标与花后叶片氮素状况的相关关系

Table 3 Correlation between grain quality traits and post-anthesis leaf nitrogen content (LNC) and leaf nitrogen accumulation (LNA) in wheat

籽粒品质指标 Grain quality index	叶片含氮量 Leaf N content			叶片氮积累量 Leaf N accumulation		
	开花期 Flowering	乳熟期 Milky ripe	蜡熟期 Waxen ripe	开花期 Flowering	乳熟期 Milky ripe	蜡熟期 Waxen ripe
	蛋白质含量 Protein content (%)	0.88 **	0.75 **	0.52 **	0.95 **	0.92 **
直链淀粉 Amylose content (%)	-0.21	0.00	-0.26	-0.17	-0.18	-0.17
干面筋含量 Dry gluten content (%)	0.88 **	0.87 **	0.70 **	0.86 **	0.89 **	0.87 **
湿面筋含量 Wet gluten content (%)	0.84 **	0.74 **	0.56 **	0.87 **	0.87 **	0.83 **
沉降值 Sedimentation value	0.75 **	0.83 **	0.66 **	0.61 **	0.72 **	0.65 **

Note:  $n=24$ ,  $\alpha_{0.05}=0.404$ ,  $\alpha_{0.01}=0.515$ .

## 2.5 小麦籽粒品质指标的间接预测

小麦花后的光谱反射特征与小麦叶片氮素状况密切相关,而花后叶片氮素状况对最终的籽粒品质有显著的影响,因此可以通过花后冠层光谱反射特征来反演小麦的叶片氮积累量,进而间接预测小麦籽粒品质指标,如图3方程所示。估算结果表明,籽粒蛋白质含量、干面筋含量和湿面筋含量实测值和预测值之间存在着较好的1:1关系(图3),两者之间的RMSE分别为0.500、0.555和2.474,说明利用冠层反射光谱来预测籽粒品质指标不仅在理论上是可行的,而且实际结果也比较可靠。

## 2.6 冠层反射光谱与小麦籽粒品质指标的关系

### 2.6.1 单波段反射率与籽粒品质指标的相关性

籽粒中的氮大部分来源于花后光合产物的再运

转,而作物冠层光谱是作物长势的综合体现,因此,冠层光谱在一定程度上也能反映最终的籽粒品质信息。成熟时小麦籽粒主要品质指标(蛋白质含量、直链淀粉含量等)与花后冠层反射光谱的分析表明,蛋白质含量与成熟期近红外波段反射率极显著相关,相关系数在0.54~0.65之间( $n=24$ ,  $\alpha_{0.05}=0.404$ ,  $\alpha_{0.01}=0.515$ ),两个品种关系较为一致,而在其他生育时期的关系不明显。籽粒直链淀粉与开花期的660 nm、乳熟期的460 nm及蜡熟期的460和510 nm相关显著( $r>0.40$ )。湿面筋含量与蜡熟期的个别波段(560 nm、660 nm、680 nm及950 nm、1100 nm)的相关达到显著水平( $r>0.41$ ),而与开花期和黄熟期的近红外和中红外波段相关达到极显著水平( $r>0.71$ )。

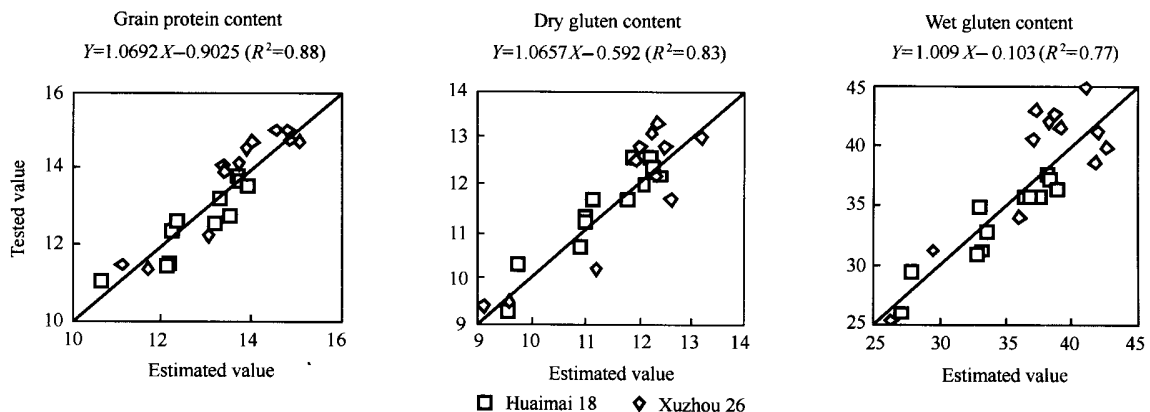


图3 小麦籽粒蛋白质含量、干(湿)面筋含量实测值与预测值的关系

Fig. 3 Relationships between estimated and tested values of protein content, wet gluten content and dry gluten content in wheat grains

2.6.2 两波段的比值指数和归一化指数与籽粒品质指标的相关性 小麦籽粒蛋白质含量与开花和蜡熟两个时期的植被指数相关较好,开花期以 1 650 nm 波段与可见光波段的组合较好,1 650 nm 和 510 nm 的组合最佳,蜡熟期最好的为 1 500 nm 与 460 nm 和 510 nm 的比值和归一化组合,相关系数均在 0.60 以上。籽粒直链淀粉仅与开花期个别指数相关显著,相关系数在 0.40 左右,其余时期的指数大多不显著。湿面筋含量与任一时期的绝大多数比值或归一化组合相关显著,其中开花期最佳的指数为 1 480 nm 与 510 nm 的组合,  $r = 0.75$ , 达极显著水平;乳熟期为 950 nm 与 510 nm 的组合,  $r = 0.65$ , 达极显著水平;蜡熟期为 1 220 nm 与 560 nm 的组合,黄熟期为 1

500 nm 与 460 nm 和 510 nm 的组合及 1 480 nm 与 460 nm 的组合。

## 2.7 小麦籽粒品质指标的直接预测

为了通过冠层反射光谱直接预测小麦籽粒品质指标,获取了开花期最佳光谱指数与蛋白质含量、干(湿)面筋含量的回归方程( $Y$ 为籽粒品质指标, $X$ 为光谱指数),并计算了预测值与实测值之间的符合程度(表4)。结果表明,开花期冠层反射光谱能被用来直接预测籽粒品质指标,但预测精度低于间接预测的。干(湿)面筋含量实测值与预测值的回归斜率远偏离于 1,回归截距也远大于 0,说明尽管干(湿)面筋含量与开花期反射光谱存在着较好的相关性,但用来直接预测还存在着一定的局限。

表4 籽粒品质指标与开花期最佳光谱指数的回归方程及实测值与预测值的符合度

Table 4 The best regression equation between protein content, dry (wet) gluten content and best spectral index at anthesis, and the fitness between measured and predicted values

品质指标 Grain quality index	最佳指数 Best Index	回归方程 Regression equation	$R^2$	实测值与预测值的符合度 The fitness between measured and predicted values			
				回归斜率 Slope	回归截距 Intercept	$R^2$	均方根差 RMSE
蛋白质含量 Protein content (%)	R(1650,510)	$Y = 1.7117X + 4.0729$	0.7042	1	6E-05	0.7057	0.773
干面筋含量 Dry gluten content (%)	R(1650,560)	$Y = 4.7277e^{0.3388X}$	0.6303	0.612	4.5424	0.6065	0.801
湿面筋含量 Wet gluten content (%)	R(1480,510)	$Y = 10.433X + 8.7634$	0.6376	0.6376	13.123	0.6376	3.115

## 3 小结与讨论

随着经济发展和人们生活水平的提高,优质专用小麦的需求量越来越大。在长江下游地区,适合于做饼干、糕点等食品的优质弱筋小麦在国内占有绝对优势<sup>[6]</sup>,在淮北地区,小麦生产上已出现了一批优质的专用面包小麦。然而,专用小麦的生产仅有优质品种是不够的,还需要适宜的生态条件和栽培措施。研究表明,同一地区的同一品种,不同的氮肥运筹方式可引起小麦籽粒蛋白质含量相差 4 个百分点以上<sup>[6,7]</sup>,对湿面筋含量和沉降值等也有显著影响<sup>[8]</sup>。因此,实时无损监测小麦的生长状况进而及时对籽粒品质进行监测预报,从而指导小麦生产管理和品质分级是当务之急。

本研究表明,通过某一个生育时期的光谱特征来直接预测小麦籽粒品质指标还存在着一定的局限性。但利用冠层反射光谱特征可以较可靠快速地反演作物叶片氮素状况<sup>[9~15]</sup>,而小麦花后叶片氮素状况与籽粒品质指标尤其是蛋白质含量关系极其密切<sup>[16]</sup>,因此可以间接地对籽粒蛋白质含量进行监测预报。王纪华等发现开花期叶片含氮量与籽粒品质

指标相关显著,并基于此关系建立了小麦籽粒蛋白质含量等品质指标的回归预测方程<sup>[3]</sup>,然而,本研究却发现,叶片氮积累量与籽粒品质指标的相关性要优于叶片含氮量的,这可能是因为叶片氮积累量还考虑了叶片干重的影响。但具体用哪一个指标建立小麦籽粒品质预测方程精确性较高,还有待进一步验证。此外,由于本试验数据来源有限,籽粒蛋白质含量预测的量化方程还有待进一步测试和完善。

## References

- [1] Humburg D S, Stange K W, Robert P C. Spectral properties of sugar beets related to sugar content and quality. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, St. Paul, Minnesota, USA, 19 - 22 July 1998. Part A and Part B, 1 593 - 1 602
- [2] Matsunaka T, Watanabe Y, Miyawaki T. Prediction of grain protein content in winter wheat through leaf color measurements using a chlorophyll meter. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1997, 43(1): 127 - 134
- [3] Wang J-H(王纪华), Huang W-J(黄文江), Zhao C-J(赵春江), Yang M-H(杨敏华), Wang Z-J(王之杰). The inversion of leaf biochemical components and grain quality indicators of winter wheat through spectral reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(4): 276 - 284
- [4] Tang Z-C(汤章城). Instructions of Plant Physiology Experiments (现代植物生理学实验指南). Beijing: Science Press, 1999. 133 - 134

- (in Chinese)
- [5] Wang Z-C(王肇慈). Analysis on Quality of Grain and Oil(粮油食品品质分析)(2nd edition). Beijing: Chinese Industry Press, 2000. 4 (in Chinese)
- [6] Yao J-B(姚金保), Yao G-C(姚国才), Yang X-M(杨学明). Research on status of quality and its improvement of wheat varieties in Jiangsu Province. *Journal of Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2000, 20(4): 17 - 21
- [7] Cai D-T(蔡大同), Mao Z-S(茆泽圣), Yang G-F(杨桂芬). Effects of different nitrogen application time on the yield and process quality of high-quality wheat. *Soil and Fertilizer*(土壤肥料), 1994, (2): 19 - 21
- [8] Xu H-Y(徐恒永), Zhao Z-D(赵振东), Liu J-J(刘建军), Liu A-F(刘爱峰), Zhang C-L(张存良). Effects of plant population regulation and nitrogen application on grain yield and quality of winter wheat Jinan 17. *Journal of Triticeae Crops*(麦类作物学报), 2002, 22(1): 56 - 62
- [9] Dala R C, Strong W M, Weston T. Prediction of grain protein in wheat in subtropical environment from available water and nitrogen in vertisols at sowing. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1997, 37(3): 351 - 357
- [10] Fflella I, Serrano L, Serra J. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis. *Crop Science*, 1995, 35: 1 400 - 1 405
- [11] Stone M L, Solie J B, Raun W R, Whitney R W, Taylor S L, Ringer J D. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *Transaction of the ASA E*, 1996, 39: 1 623 - 1 631
- [12] Xue L-H(薛利红), Cao W-X(曹卫星), Luo W-H(罗卫红), Zhang X(张宪). Correlation between leaf nitrogen status and canopy spectral characteristics in wheat. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 2004(刊印中)
- [13] Takihashi W, Nguyen-Cong V, Kawaguchi S, Minamiyama M, Ni-nomiya S. Statistical models for prediction of dry weight and nitrogen accumulation based on visible and near-infrared hyper-spectral reflectance. *Plant Production Science*, 2000, 3: 377 - 386
- [14] Tapley L, Raja Reddy K, Gretchen F, Sassenrath-Cole F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. *Crop Science*, 2000, 40: 1 814 - 1 819
- [15] Takebe M, Yoneyama T, Inada K, Murakami T. Spectral reflectance ratio of rice canopy for estimating crop nitrogen status. *Plant Soil*, 1990, 122: 295 - 297
- [16] Du J-Z(杜金哲), Li W-X(李文雄), Hu S-L(胡尚连), Liu J-H(刘锦红). Nitrogen assimilation, transfer and utilization in relation to grain protein content and yield of spring wheat genotypes differing in quality. *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 2001, 27(2): 253 - 260

## 欢迎订阅《遗传学报》、《遗传》杂志

《遗传学报》、《遗传》杂志是中国遗传学会和中国科学院遗传与发育生物学研究所主办、科学出版社出版的国家级学术期刊,中文生物学核心期刊,已被美国化学文摘、生物学数据库、生物学文摘、医学索引以及俄罗斯文摘杂志等多种国内外重要检索系统与数据库收录。读者对象为基础医学、农林牧渔、生命科学各领域的科研、教学、开发人员,大学生、研究生、中学生物教师等。

2002年,《遗传学报》、《遗传》的影响因子分别为1.0447和0.8456。2003年,实现全文上网;《遗传学报》获得“国家期刊奖百种重点期刊奖”和“百种中国杰出学术期刊”奖。2004年,实行网上投稿、网上审稿;发行全文检索数据光盘。

《遗传学报》(月刊)邮发代号2-819,2005年定价30元,全年360元。

《遗传》(双月刊)邮发代号2-810,2005年定价25元,全年150元。

由高等教育电子音像出版社出版的《遗传学报》(1974~2003年)全文检索数据光盘定价1800元,《遗传》(1979~2003年)全文检索数据光盘定价1500元,于2004年7月起发行,两份光盘同时购买9折优惠,欢迎邮购。

地址:北京市安定门外大屯路 中国科学院遗传与发育生物学研究所(邮编:100101)

主编:薛勇彪 编辑室主任:李绍武 电话/传真:010-64889348

网址:www.Chinagene.cn E-mail:swli@genetics.ac.cn