

# 应用近红外反射光谱技术测定 油菜芽期耐旱性的研究

朱宗河<sup>1</sup>, 郑文寅<sup>1</sup>, 周可金<sup>1</sup>, 张学昆<sup>2</sup>

(1. 安徽农业大学农学院, 安徽 合肥 230036; 2. 中国农业科学院油料作物研究所, 湖北 武汉 430062)

**摘要:** 针对油菜芽期耐旱鉴定, 提出了用近红外反射光谱技术(NIR法)预测油菜吸胀 24 h 电导率、PEG 模拟干旱条件下的相对发芽率、相对鲜重和鲜重耐旱指数等 4 个芽期耐旱相关性状的方法。以采集的 49 份不同耐旱水平甘蓝型油菜近红外光谱数据为基础, 采用偏最小二乘法和多元回归算法建立了最优定标模型, 并获得较高的决定系数(0.71~0.86)和较低的标准误差(1~15.65)。验证集评估结果表明, NIR 法与室内鉴定法测定油菜 4 个芽期耐旱相关性状无显著差异, 且具有极显著的相关关系(决定系数 0.72~0.89)。研究表明, 近红外光谱技术用于油菜芽期耐旱性鉴定是可行的, 可用于耐旱育种早代选择。

**关键词:** 油菜; 近红外反射光谱; 耐旱鉴定; 电导法; PEG 胁迫

中图分类号: S565.403; S123 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)06-0262-06

## Drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) during bud stage as revealed by near infrared reflectance spectroscopy

ZHU Zong-he<sup>1</sup>, ZHENG Wen-yin<sup>1</sup>, ZHOU Ke-jin<sup>1</sup>, ZHANG Xue-kun<sup>2</sup>

(1. Department of Agronomy, Anhui Agriculture University, Hefei 230036, China;

2. Institute of Oil Crops Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China)

**Abstract:** Using infrared reflectance spectroscopy (NIR), the study evaluated drought resistance by four parameters including the electric conductivity after 24 h imbibitions, relative germination rate, relative seedling fresh weight and drought tolerant index with PEG treatment. Based on the 49 collected data of different drought tolerance in rapeseed with NIR, and using partial least square algorithm and multiple regression method, we established optimal calibration model, with a higher determination of 0.71~0.98 and lower standard error of 1~15.65. The results indicated no significant difference but a remarkable correlation between the two treatments, with the  $R^2$  of 0.72~0.89. The results suggest that NIR was feasible to identify the drought tolerance in rapeseed, which could be used in screening drought tolerance germplasm.

**Keywords:** *Brassica napus* L.; near infrared reflectance (NIR) spectroscopy; drought tolerance identification; electric conductivity; PEG treatment

油菜(*Brassica napus* L.)是我国第一大油料作物,面积和产量均居世界第一<sup>[1]</sup>。菜籽油约占我国自产食用植物油的 40%,对于保障我国食用植物油供给安全具有重要意义<sup>[2]</sup>。在我国,油菜播种期处在月降水量最少的时期,播种后常常因长时间无有效降水而处于干旱胁迫状态。干旱抑制油菜种子萌发,导致出苗慢、返青慢、生长慢、植株矮小,严重影

响产量,是限制油菜生产的重要因素之一。

选育耐旱性强的品种是缓解旱害的有效途径,耐旱鉴定是耐旱育种的基础。国内外通常采用电导法<sup>[3]</sup>、PEG 模拟干旱条件来测定发芽性状和生理指标<sup>[4-8]</sup>等方法测定作物芽期耐旱性。近年来,近红外光谱技术也逐渐应用于作物耐旱性鉴定<sup>[9-10]</sup>。利用近红外光谱技术分析油菜耐旱性的研究鲜见报道。

收稿日期:2014-04-19

基金项目:安徽省自然科学基金(1308085MC45);国家支撑计划(2010BAD01B04)

作者简介:朱宗河(1974—),男,安徽池州人,博士,高级农艺师,主要从事油菜分子育种研究。E-mail: zhuzonghe\_74@163.com。

\* 通信作者:张学昆(1968—),男,云南昆明人,研究员,博士生导师,主要从事油菜抗逆育种研究。E-mail: zhangxk@139.com。

本研究采用 PEG 模拟干旱,对 49 份油菜种子进行芽期耐旱鉴定并采集近红外光谱,应用偏小二乘法 and 多元回归算法,建立预测油菜芽期耐旱相关性状的最优定标方程,旨在探讨近红外光谱技术鉴定油菜芽期耐旱性的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本研究 49 份甘蓝型油菜材料为近年来通过国家及省级审定油菜品种,经套袋自交分离,系统选育

而成的纯系,种子收获后风干,精选并放入装满硅胶的干燥器中贮藏备用(表 1)。渗出物电导率测定、PEG 胁迫下耐旱鉴定及近红外光谱采集各设 3 次重复。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 渗出物电导率测定 取 1 g 种子放入带盖塑料离心管中,加入 100 ml 去离子水,室温下,吸胀 24 h 后测定电导率,重复 3 次测定,取平均值。渗出物电导率根据 Goel 等<sup>[11]</sup>的方法,使用 DDS-11A 型电导测定仪(上海产)测定。

表 1 供试材料及来源

Table 1 Tested cultivars and lines

编号 Code	品系 Accession	编号 Code	品系 Accession	编号 Code	品系 Accession
9H01	煌 C* Huang C*	9H18	宁杂 11 选系 Ningza 11s	9H35	秦优 8 号选系 Qinyou 8s
9H02	秦优 7 号选系 Qinyou 7s	9H19	丰油 701 选系 Fengyou701s	9H36	中油杂 2 号选系 Zhongyouza 2s
9H03	陕油 10 号选系 Shanyou 10s	9H20	湘杂油 6 号选系 Xiangzayou 6s	9H37	秦研 211 选系 Qinyan 211s
9H04	陕油 9 号选系 Shanyou 9s	9H21	皖油 17 选系 Wanyou17s	9H38	秦优 10 号选系 Qinyou 10s
9H05	华油杂 7 选系 Huayouza 7s	9H22	H9954 选系 H9954s	9H39	中油杂 8 号选系 Zhongyouza 8s
9H06	华黄 1 号选系 Huahuang 1s	9H23	华油杂 11 选系 Huayouza 11s	9H40	希望 98 选系 Xiwang 98s
9H07	沪油 15 选系* Huyou 15s*	9H24	浙油 50 选系* Zheyou 50s*	9H41	中油杂 6 号选系 Zhongyouza 6s
9H08	沪油 16 选系* Huyou 16s*	9H25	淮杂 3 号选系 Huaiza 3s	9H42	中油杂 7 号选系 Zhongyouza 7s
9H09	沪油 17 选系* Huyou 17s*	9H26	中油杂 3 号选系 Zhongyouza 3s	9H43	华油杂 10 号选系 Huayouza 10s
9H10	渝黄 1 号 Yuhuang 1s	9H27	豫油 5 号选系 Yuyou 5s	9H44	秦优 6 号选系 Qinyou 6s
9H11	豫油 6 号选系 Yuyou 6s	9H28	秦优 9 号选系 Qinyou 9s	9H45	华油杂 9 号选系 Huayouza 9 s
9H12	华皖油 2 号选系 Huawanyou 2s	9H29	秦杂 1 号选系 Qinza 1s	9H46	浙油 17 选系 Zheyou 17s
9H13	华油 2008 选系 Huayou2008s	9H30	中油 98-3 选系 Zhongyou 98-3s	9H47	中油杂 11 选系 Zhongyouza 11s
9H14	中双 11 选系* Zhongshuang 11s*	9H31	H9909 选系 H9909s	9H48	H4270 选系 H4270s
9H15	中油 98D 选系 Zhongyou98Ds	9H32	油研 10 号选系 Youyan 10s	9H49	红油 3 号选系 Hongyou 3s
9H16	中双 9 号选系* Zhongshuang 9s*	9H33	中油 012 选系 Zhongyou012s		
9H17	沪油 18 选系* Huyou 18s*	9H34	G2153*		

注:s:选系;\* :常规品种(系),其余为杂交种。

Note:s: selection lines \* : indicate conventional varieties/lines, others are hybrid varieties.

1.2.2 PEG 胁迫下耐旱鉴定 PEG 模拟干旱处理按照杨春杰的方法进行<sup>[12]</sup>。100 粒种子放入已铺好双层湿润滤纸的 25 cm × 25 cm 的发芽盒中,采用 10% PEG-6000 浸泡,蒸馏水发芽处理作为对照。第 7 天根据 ISTA 活力测试方法手册评价发芽情况,记录发芽率和茎鲜重<sup>[13]</sup>。相对发芽率和相对茎鲜重都用 PEG 处理与对照的比值表示。芽期耐旱指数(Drought tolerance index, DTI)用相对发芽率乘以相对茎鲜重计算<sup>[14]</sup>。

1.2.3 近红外光谱采集 使用 FOSS NIRSystem 5000-M 型近红外分析仪采集近红外光谱,干燥器中取出待测种子,去除杂质,取籽粒饱满的种子放入

直径 30 mm 的旋转杯内,铺平压实,每个样品连续采集 3 次光谱,取其平均值作为该样品的光谱(图 1)。

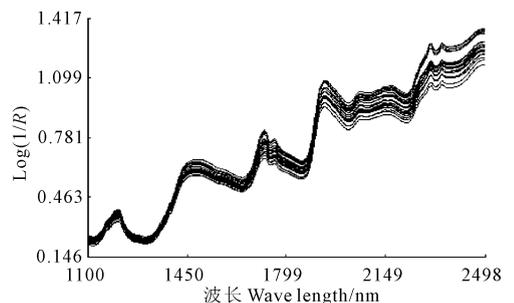


图 1 油菜种子样品近红外扫描图谱

Fig.1 Near-infrared reflectance (NIR) spectra of rapeseed samples

1.2.4 光谱处理及数据分析 使用 Win ISI 近红外光谱分析软件包进行光谱数据处理与分析。将 49 份材料吸胀 24 h 电导率和 PEG 干旱胁迫处理后测定的相对发芽率、相对茎鲜重和鲜重耐旱指数作为实验室数据(reference values)输入 Win ISI 软件,使用 Make & Use Scores 程序,以 3 倍标准变异单位( $GH = 3.0$ )为剔除标准剔除超常样品,确定具有变异性(代表性)的定标样品。选取 1 100 ~ 2 500 nm 范围作为建模光谱区域。使用 Regression 程序和采用偏小二乘法(Partial Least Squares, PLS)和多元线性回归(Multiple Linear Regression, MLR)算法,从①SNV(标准正常化处理) + DETErend(去散射处理),1(1 为 1 阶导数处理,2 为 2 阶导数处理),4(Gap = 4),4(Smooth 选项),1(Smooth2 选项)②去散射处理,SNV + DETErend,1,4,4,1③无散射处理,1,4,4,1④无散射处理,2,4,4,1 四种数学及散射处理所得回归模型中选取相关系数高,标准误差小的建立定标模

型。定标模型预测性能评估用 Win ISI 完成, $t$  检验用 DPS v7.05 完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 油菜室内芽期耐旱性鉴定

49 个品系吸胀 24 h 后电导率及 PEG 处理后的发芽性状统计结果见表 2。由表 2 可知,各油菜样品间所测性状差异都达到极显著水平且具较大变幅,如吸胀 24 h 电导率最高为华黄 1 号选系,达  $322 \mu\text{S} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,而秦研 211 选系仅为  $88 \mu\text{S} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ;华皖油 2 号选系的相对发芽率高达 96.9%,而秦优 10 号选系仅为 78.5%;相对鲜重和鲜重耐旱指数最高的都是沪油 18 选系,分别 97.4% 和 92.0%,最低都是沪油 17 选系,分别为 46.4% 和 41%。由此可见,本实验材料来源范围广,基本涵盖了各个耐旱水平的油菜材料。

表 2 49 份材料电导率及 PEG 模拟干旱测定参数

Table 2 Conductivity and drought tolerance characteristics of 49 cultivars with PEG treatment

性状 Characteristics	样品数 Sample numbers	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 SD	F 值 F value
吸胀 24 h 电导率/ $(\mu\text{S} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 24h Electric conductivity	49	160.78	88.00	322.00	47.68	78.0**
相对发芽率 Relative germination rate/%	49	86.27	78.50	96.90	3.70	3.5**
相对鲜重 Relative seedling fresh weight/%	49	71.38	46.40	97.40	11.77	39.4**
幼苗鲜重耐旱指数 DTI of seedling fresh weight/%	49	61.51	41.00	92.00	10.20	10.3**

注 Note: \*\*  $P < 0.01$ .

### 2.2 定标模型的建立

定标模型各参数如表 3 所示。由表 3 可看出,建立定标模型的各品系间芽期耐旱相关性状变异幅度较大,且都具有较高的决定系数, $R^2$  都在 0.70 以上,其中,相对发芽率的相关系数达到 0.97,较高的变幅保证了定标模型较广的适用范围,较高的相关

系数保证了该定标模型的可靠性。应用该定标模型对定标样品集进行预测,所获得近红外分析值和实验室测定值的标准误差 SEC 普遍较小,其中相对发芽仅为 1.0,较小的 SEC 表明了该预测模型定标方程对自身较好的预测能力。

表 3 不同油菜芽期耐旱性状的近红外定标方程参数

Table 3 Calibration equation parameter for several rapeseed under drought tolerance

性状 Character	样品数 Sample number	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 SD	SEC <sup>a</sup>	SEC <sup>v</sup> <sup>b</sup>	$R^2$
吸胀 24 h 电导率/ $(\mu\text{S} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$ 24h Electric conductivity	24	148.67	22.80	274.54	41.96	15.65	30.65	0.86
相对发芽率 Relative germination rate/%	23	86.80	74.53	99.08	4.09	1.00	2.70	0.94
相对鲜重 Relative seedling fresh weight/%	24	75.25	41.98	96.53	11.09	6.13	9.53	0.71
幼苗鲜重耐旱指数/% DTI of seedling fresh weight	24	65.34	37.48	93.19	9.21	5.04	8.31	0.72

注: a - 定标集标准误差; b - 验证集标准误差; 删除超常样品批次数为 4。

Note: a - Standard error of calibration; b - Standard error of validation.

定标方程入选样品芽期耐旱相关性状经主成分分析精简光谱数据后,利用计算得分所做的三维空间图如图 2 所示。图 2 表明,入选的油菜样品无明显的分组现象,无需分组定标建模降低预测误差。

表 3 中,吸胀 24 h 电导率决定系数达到 0.89,相对发芽率、相对鲜重和鲜重耐旱指数的决定系数虽然都只略大于 0.70,但都具有较小的预测标准误差 SEP,因此,利用 NIR 技术可以较好地预测这 4 个检测性状。各检测性状 NIR 预测值与室内测定值的相关关系图见图 3。

### 2.3 定标模型预测性能的评估与检验

定标模型建立后,需要采用一组没有参与定标的独立样品(即验证样品集)对定标方程的预测性能进行评估。本研究采用同期进行耐旱鉴定但未参与定标的另外 24 个品系作为验证集样品进行检验,所得 NIR 预测值和室内测定值及检验结果见表 4。表 4 中两种方法所测值均服从  $t$  分布,采用成对检验法对两组数据进行  $t$  检验,4 个芽期耐旱相关性状  $t_0$  均小于  $t_{0.05,23}$  ( $t_{0.05,23} = 2.069$ ),即  $t_0 < t_{0.05,23}$ ,表明这 4 个芽期耐旱相关性状用这两种方法检测无显著差异。因此,利用近红外光谱技术预测油菜芽期

耐旱性是可行的。

上述结果表明,近红外光谱技术可以较好地预测油菜吸胀 24 h 电导率、PEG 处理下相对发芽率、相对鲜重和鲜重耐旱指数等 4 个芽期耐旱相关性状。该方法方便、简单、快速、无损,适合油菜芽期耐旱鉴定特别是育种早期世代大量材料的耐旱分级和筛选。

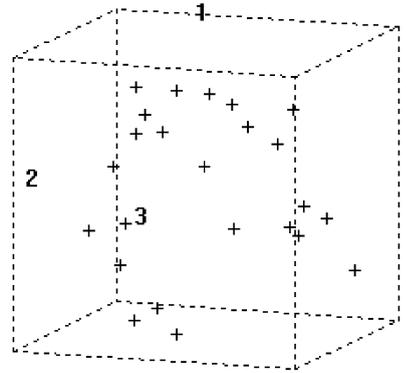


图 2 定标样品光谱数据主成分得分三维图

Fig.2 3-D display of scores of PCA from spectra calibration samples

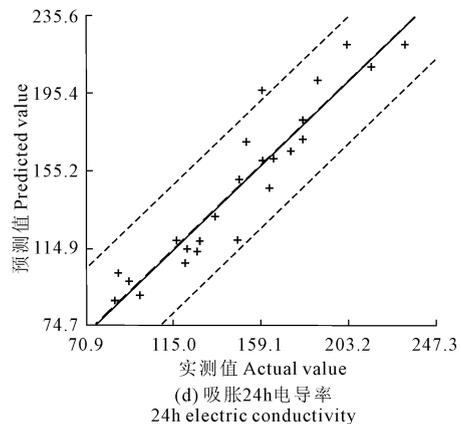
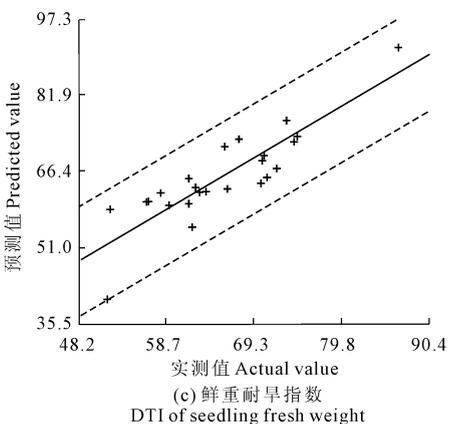
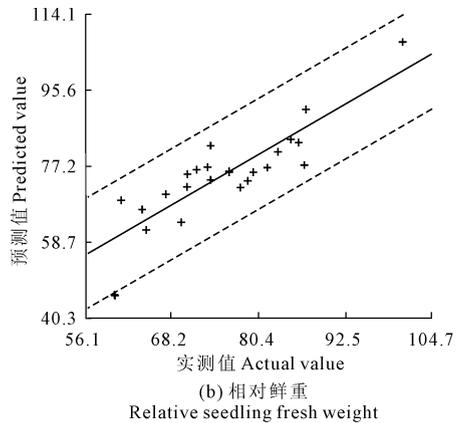
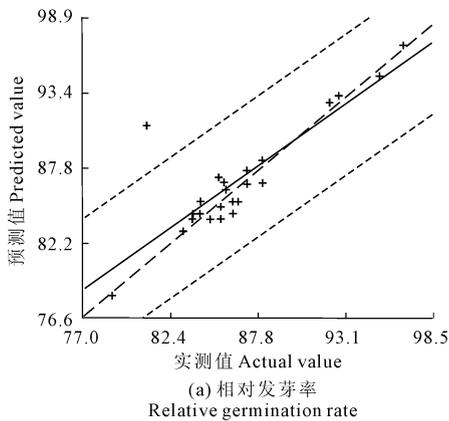


图 3 油菜芽期耐旱相关性状室内测定值与 NIR 预测值相关性

Fig.3 Correlations between predicted values and measured values

表 4 验证集样品对定标模型的预测分析表  
Table 4 Prediction of calibration using validation set

品系 Accession	吸胀 24 h 电导率 24 h electric conductivity $/(\mu\text{S}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$		相对发芽率/% Relative germination rate		相对鲜重/% Relative seedling fresh weight		鲜重耐旱指数/% DTI of seedling fresh weight	
	LAB	ANL	LAB	ANL	LAB	ANL	LAB	ANL
9H02	115	121	92.7	92.1	67.1	64.0	62	58
9H04	119	128	94.5	95.2	75.7	70.4	72	66
9H09	103	87	87.6	87.1	46.4	60.1	41	52
9H11	108	121	88.5	88.0	82.5	73.6	73	68
9H12	132	136	96.9	95.6	62.0	64.5	64	70
9H13	146	163	93.2	92.2	73.8	78.8	69	70
9H14	151	148	91.0	80.9	81.0	82.8	74	75
9H17	221	202	85.4	86.2	97.4	100.3	92	87
9H19	161	160	86.8	88.0	63.6	69.3	55	62
9H21	162	165	86.7	87.1	83.7	84.7	73	74
9H22	182	180	84.2	83.8	91.0	86.8	77	73
9H23	166	173	86.8	85.7	77.6	86.4	67	72
9H24	120	146	87.2	85.4	72.2	77.7	63	66
9H26	202	187	84.1	84.9	74.1	73.6	62	63
9H27	120	116	84.6	84.2	77.2	81.3	65	71
9H30	221	231	84.1	85.5	83.2	85.8	70	70
9H33	197	160	83.3	83.1	75.9	76.0	63	62
9H34	172	180	84.6	86.2	70.4	67.2	60	59
9H35	98	92	85.4	84.2	70.8	67.4	60	57
9H36	114	126	86.3	85.8	72.3	70.3	62	63
9H37	88	85	85.4	86.5	68.9	61.2	59	52
9H38	91	97	78.5	78.8	76.9	73.1	60	56
9H44	170	151	85.0	85.5	76.7	71.6	65	61
9H45	209	214	84.5	84.1	75.9	79.5	62	63
SEP	13.56		2.23		2.23		4.49	
$R^2$	0.89**		0.72**		0.72**		0.76**	
$\bar{d}$	-0.0417		0.47		0.47		0.000	
$S_{\bar{d}}$	13.7382		2.25		2.25		4.6251	
$t_0$	0.01419		1.0161		1.0161		0.000	

注: \*\*  $P < 0.01$ ; LAB: PEG 模拟干旱鉴定结果; ANL: 近红外分析结果。

Note: \*\*  $P < 0.01$ ; LAB: analyzed by PEG; ANL: analyzed by NIR.

### 3 结论与讨论

张健等<sup>[15]</sup>在对玉米进行芽期耐旱研究后认为,用 PEG-6000 渗透方法模拟干旱条件具有简单易行、重复性好、实验周期短等特点,适用于大批量材料进行芽期耐旱快速鉴定。杨春杰等<sup>[16]</sup>研究认为,PEG-6000 模拟干旱条件下的油菜种子与其它作物种子发芽过程中,主要生理生化指标的变化规律是一致的,并认为相对活力指数较为直观、综合地反映了发芽和生长性状,可作为油菜芽期抗性鉴定的主要指标。李震等<sup>[8]</sup>利用该方法对 81 个甘蓝型油菜进行了芽期耐旱性鉴定,筛选到一批耐旱性遗传资源。

虽然利用 PEG 模拟干旱可以对油菜芽期进行简单的耐旱鉴定,但用于耐旱种质鉴定还是有工作量偏大的缺点。因此,本研究在 PEG-6000 模拟干旱条件下对 49 份甘蓝型油菜材料进行芽期鉴定的基础上,引入近红外检测技术。

近红外光是波长在 780 ~ 2 600 nm 范围内的电磁波,近红外反射光谱技术(near infrared reflectance spectroscopy, NIRS)就是利用近红外光照射被测样品,通过收集样品的反射光或透射光,获取样品的光谱信息,与被测样品的某种化学成分或特性建立联系和预测模型,然后应用该模型对未知样品的光谱进行计算,预测对应的某种成分和特性的技术。因

其具有快速、无损和微量的特点被广泛应用于品质<sup>[17-18]</sup>、生化指标<sup>[19]</sup>和某些特性的测定中,如李军会等<sup>[9]</sup>认为可以利用叶片近红外光线漫反射光谱对栽培稻抗旱性进行快速鉴定。

近红外反射光谱技术定标模型的优劣取决于所建模型相关系数的高低及误差的大小。较高的相关系数和较低的标准误差对一个可靠的定标模型是十分必要的,而定标样品的数量及含量范围则决定了定标模型的适用范围。本研究以 49 份甘蓝型油菜为材料,利用 Win ISI 软件和近红外光谱分析仪(NIRS)分析了相对发芽率、相对茎长、相对鲜重、幼苗茎长耐旱指数、幼苗鲜重耐旱指数、吸胀 5 h 电导、吸胀 24 h 电导率等 7 项指标,根据定标集样品 PEG 模拟干旱测定的数据和吸收光谱建立了定标模型,除相对茎长及茎长耐旱指数外,获得了较高的预测集决定系数(0.71~0.94)和除吸胀后电导率外较低的标准误差(4~11.35)。同时,用校正集样品对模型进行了预测,结果表明,利用近红外光谱技术能够实现简单、快速、无损预测油菜吸胀 24 h 电导率,PEG 模拟干旱下的相对发芽率、相对鲜重和鲜重耐旱指数等 4 个芽期耐旱相关性状。为油菜芽期耐旱性快速鉴定提供了一种新的方法,有助于提高油菜芽期耐旱育种效率。

#### 参 考 文 献:

- [1] 王汉中. 中国油菜生产抗灾减灾技术手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [2] 傅廷栋. 油菜杂种优势研究利用的现状与思考[J]. 中国油料作物学报, 2008, (3): 1-6.
- [3] 陈毓荃, 王志常, 王志辉. 农作物抗旱性鉴定仪的研制和应用[J]. 西北农业学报, 1997, 6(3): 92-95.
- [4] 王俊娟, 叶武威, 王德龙. PEG 胁迫条件下 41 份陆地棉种质资源萌发特性研究及其抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(6): 840-846.

- [5] 张 震, 谢小玉. PEG 胁迫下甘蓝型油菜种子萌发期抗旱鉴定指标的研究[J]. 西北农业学报, 2012, 21(2): 72-77.
- [6] Dhanda S S, Sethi G S, Behl R K. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2004, 190(1): 6-12.
- [7] Yutaka Sato, Sakiko Yokoya. Enhanced tolerance to drought stress in transgenic rice plants overexpressing a small heat-shock protein, sHSP17[J]. Plant Cell Report, 2008, 27: 329-334.
- [8] 李 震, 杨春杰, 张学昆, 等. PEG 胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(4): 438-442.
- [9] 李军会, 王昌贵, 康定明. 栽培稻叶片近红外光纤漫反射光谱的抗旱性鉴定分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(10): 2646-2650.
- [10] 王雪征, 陈淑萍, 张文英. 近红外反射光谱在冬小麦抗旱性鉴定中的应用[J]. 河北农业科学, 2011, 15(10): 19-22, 25.
- [11] Goel A, Goel A M, Sheoran I S. Changes in oxidative stress enzymes during artificial ageing in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds[J]. J Plant Physiology, 2003, 160: 1093-1100.
- [12] 杨春杰, 程 勇, 邹崇顺, 等. 模拟干旱胁迫下不同甘蓝型油菜品种发芽能力的配合力与遗传效应分析[J]. 作物学报, 2008, 34(10): 1744-1749.
- [13] Hampton J G, Terkrony D M. Handbook of vigour test methods (3. ed)[M]. Zurich: The International Seed Testing Association, 1995.
- [14] 张学昆, 陈 洁, 王汉中, 等. 甘蓝型油菜耐湿性的遗传差异鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(2): 204-208.
- [15] 张 健, 池宝亮, 黄学芳. 玉米萌芽期水分胁迫抗旱性分析[J]. 山西农业科学, 2007, 35(2): 34-38.
- [16] 杨春杰, 张学昆, 邹崇顺, 等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(4): 425-430.
- [17] 张 璐, 郝永忱. 近红外光谱法测定豆粕中常规化学成分的研究[J]. 检验检疫科学, 2003, 13(1): 25-27.
- [18] 陈 锋, 何中虎, 崔党群. 利用近红外透射光谱技术测定小麦籽粒硬度的研究[J]. 作物学报, 2004, 30(5): 455-459.
- [19] 蒋焕煜, 谢丽娟, 彭永石, 等. 温度对叶片近红外光谱的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(7): 1510-1513.

(上接第 228 页)

- [11] 魏 峰, 丁裕国, 王劲松. 西北地区 5—9 月极端干期长度的概率特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 1(1): 147-152.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 105-140.
- [13] Thomthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate[J]. Geogr Rev, 1948, 38: 55-94.
- [14] 陕西气候编写组. 陕西气候[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2009: 117-126.
- [15] 杜继稳, 侯明全, 梁生俊, 等. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 21-23.

- [16] 刘莉红, 翟盘茂, 郑祖光. 中国北方夏半年极端干期的时空变化特征[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 403-411.
- [17] Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin, et al. Changes of climate extremes in China[J]. Climatic change, 1999, 42: 203-218.
- [18] 肖 军, 赵景波. 陕西省 54 a 来农业干旱灾害特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(5): 201-204.
- [19] 杜继稳. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 21-31.
- [20] 温克刚. 中国气象灾害大典陕西卷[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 27-41.