

# 盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价\*

陈德明 俞仁培 杨劲松

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 应用隶属函数值法, 以相对含水量、相对电解质外渗率、叶伸展速率、干物质胁迫指数、相对存活率及成穗率胁迫指数和籽粒产量胁迫指数等为指标, 对小麦的抗盐性进行了评价。苗期生长生理性状指标的隶属度综合值( $\sum X_{(u)}$ )与均值( $\bar{X}_{(u)}$ )综合评价表明, 本试验中小麦抗盐性为: 植申 2 号 > 鲁麦 19 > 浙麦 > 扬麦 158 > 鲁麦 23。产量性状胁迫指数的隶属度综合值( $\sum X_{(u)}$ )与均值( $\bar{X}_{(u)}$ )综合评价表明, 小麦抗盐性: 鲁麦 19 > 植申 2 号 > 浙麦 > 扬麦 158 > 鲁麦 23。本文还对产量性状胁迫指数与生长生理性状的隶属度进行了相关分析。

**关键词** 抗盐性, 小麦, 隶属函数值法, 评价

**中图分类号** S156

世界范围内抗盐作物种质资源十分丰富, 运用作物抗盐性防治土壤盐渍化是盐渍土管理的重要内容。目前国际上对抗盐性及其相关领域的研究正日益加强, 其中对作物抗盐能力的界定是该方面研究的基础。美国农业部盐土实验室(USSSL, USDA)依据土壤饱和泥浆浸出液电导率及生长产量等指标提出了各类作物及果树的耐盐阈值<sup>[1]</sup>。Maas 和 Hoffman<sup>[2]</sup>用盐分临界值及斜率等参数描述作物的抗盐性, 建立了作物产量与土壤饱和泥浆浸出液电导率的响应模型, 并根据参数的取值确定作物的抗盐性。Van Genuchten 和 Hoffman<sup>[3]</sup>采用最小二乘法非直线回归, 对上述模型两个参数的求法进行了改进。但由于上述方法中产量指标的获取往往需要较长的周期, 显然不利于抗盐性的快速界定。因此, 建立作物抗盐性的快速测定技术和方法, 成为抗盐性及其相关领域研究不可或缺的重要方面。

本文在试验研究的基础上, 通过相应指标体系的确立, 运用模糊数学中的隶属函数值方法, 对小麦不同品种的抗盐指标进行了量化, 并据此进行评价, 以建立抗盐性速测技术及评价体系。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 土壤 抗盐性试验所用的土壤采自沿海滩涂地区, 分别为发育于浅海沉积物母质的表层脱盐化和表层中度盐化滨海潮土(S<sub>1</sub> 和 S<sub>2</sub>, 0~20cm 耕层土壤)。土壤盐分组成及其它性状如表 1。

\* 中国科学院“九五”农业科技开发研究重大项目 KN95-03-04 和国家重点基础研究发展规划项目 G1999011803 资助

收稿日期: 2001-01-26; 收到修改稿日期: 2001-12-28

表 1 土壤基本性状

Table 1 Some characteristics of soils tested

土壤 Soil	pH	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	TS ( $\text{g kg}^{-1}$ )	可溶性盐组成 Component of soluble salt ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )								$\text{CaCO}_3$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	质地 Texture
				$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$		
$S_1$	7.42	0.353	1.25	-	1.05	0.33	0.40	0.09	0.45	0.48	0.57	105.5	中壤
$S_2$	7.87	1.156	3.97	-	1.15	4.64	0.53	0.16	4.85	0.57	0.69	112.5	壤质

1.1.2 作物 采用“鲁麦 19 号”、“鲁麦 23 号”、“植申 2 号”、“浙麦”和“扬麦 158”等小麦品种。

### 1.2 试验设计

试验在控制条件下进行。取内径 15cm、高 18cm 的磁钵,每盆装入预处理后的土壤 3.0kg。根据作物养分需求及土壤养分状况,每盆准确加入等量的尿素 0.90g 及磷酸二铵按 0.57g。试验过程中,用蒸馏水灌溉补充土壤水分,并保持各处理相同的水分状况。小麦经 25℃ 恒温催芽后,每盆播种 16 粒,齐苗后于生长前期每盆定苗 12 株。各小麦的对照处理及中等盐度处理,分别用采自江苏沿海滩涂的表层脱盐化及表层中度盐化潮土的耕层土壤(0~20cm),以测试江苏沿海滩涂潮土实际盐渍和肥力条件下作物的响应;根据土壤盐分运移与消长规律,以及沿海滩涂土壤盐分构成特点,较高盐度处理在原有表层弱脱盐化潮土耕层土壤盐度的基础上,用咸水进行灌溉促其进一步盐化,盐化于小麦二叶一心期开始分期进行,盐化后每 kg 土壤净增氯化钠量为 1.36g。试验共设 3 个盐度处理水平,即 1.25g kg<sup>-1</sup>、3.97 g kg<sup>-1</sup> 和 5.33 g kg<sup>-1</sup>;重复五次。

### 1.3 测试与统计

质膜透性用电导法测定,以相对电解质外渗率表示<sup>[4]</sup>。

抗盐性评价应用模糊数学中的隶属函数值法<sup>[5,6]</sup>,以苗期叶相对含水量、相对电解质外渗率及干物质胁迫指数等指标进行综合评价。

## 2 结果和分析

### 2.1 盐渍条件下小麦的响应特征

2.1.1 盐渍条件下小麦的生长与干物质质量响应 图 1a 和 b 为盐渍条件下小麦生长及干物质响应。结果显示,极端盐渍条件下(土壤盐度为 5.33 g kg<sup>-1</sup>),各小麦相对存活率均呈降低趋势,其中以“鲁麦 19”和“植申 2 号”较高,其次为“浙麦”和“扬麦 158”,而以“鲁麦 23”最低(图 1a)。苗期各小麦地上部相对干物质质量随盐度增加呈递减趋势。土壤盐度为 3.97 g kg<sup>-1</sup>时,以“鲁麦 19”和“扬麦 158”的地上部相对干物质质量降幅最小;极端盐渍条件下,则以“植申 2 号”、“浙麦”和“鲁麦 19”的降幅较小;而在不同盐度条件下,均以“鲁麦 23”的降幅最大(图 1b)。

2.1.2 盐渍条件下小麦的产量响应 图 1c 和 d 为盐渍条件下小麦相对成穗率及产量响应。极端盐渍条件下,各小麦相对成穗率均呈降低趋势,其中以“鲁麦 19”相对成穗率较高,其次为“植申 2 号”和“浙麦”,而以“鲁麦 23”最低(图 1c)。各小麦相对产量均随盐度增加而逐渐降低。土壤盐度为 3.97 g kg<sup>-1</sup>时,小麦相对产量降幅较小;极端盐渍条件下,小麦相对产量明显降低;而在不同盐度条件下,同样均以“鲁麦 23”相对产量降幅最大(图 1d)。极端盐渍条件下小麦相对成穗率和产量均显著降低,各小麦相对成穗率和产量

降幅的不同,反映了小麦抗盐性的差异。

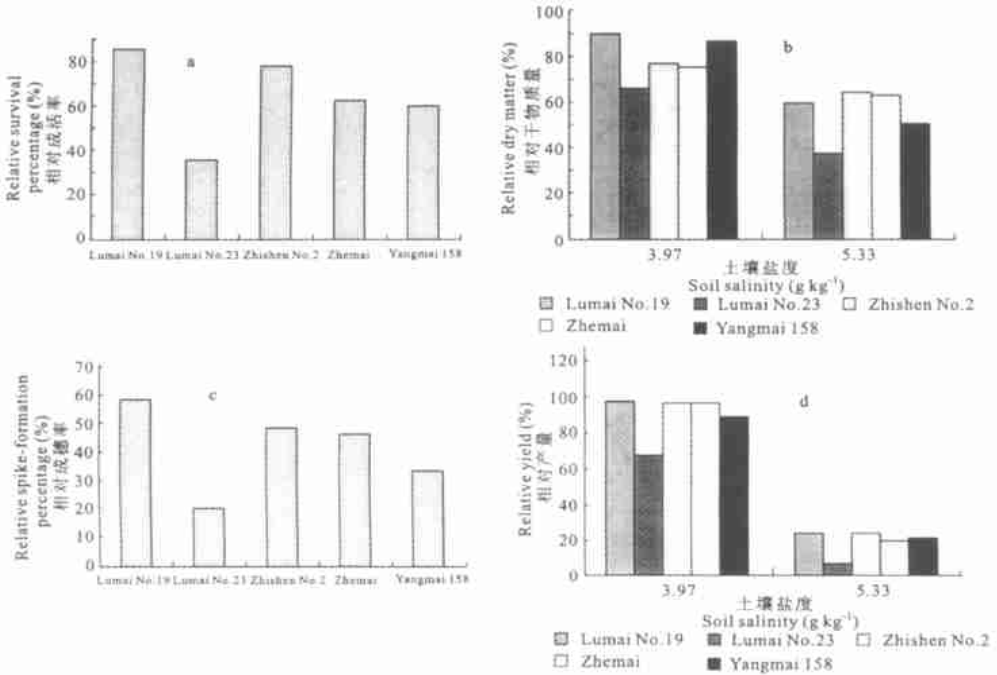


图1 小麦对土壤盐度的生长与产量响应

Fig. 1 Growth and yield responses of five wheat varieties to soil salinity

## 2.2 小麦抗盐性的隶属函数值法评价

2.2.1 作物抗盐评价的隶属函数值法 在抗盐性评价中,作物各品种的实际抗盐能力以抗盐隶属度来表示<sup>[5,6]</sup>。用下列公式求出作物各品种各指标的具体隶属度:

$$X(u) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

式中,  $X$  为作物各品种的某一指标测定值,  $X_{\max}$  为所试品种中某一指标测定值的最大值,  $X_{\min}$  为该指标中最小值。若某一指标与抗盐性为负相关,可用反隶属函数计算其抗盐隶属度:

$$X(u) = 1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

2.2.2 小麦抗盐的隶属函数值法评价 (1) 生长生理性状隶属度及综合值。极端土壤盐渍条件下不同小麦的生长生理性状隶属度及综合值列于表2。从表2可见,在土壤盐度为  $5.33 \text{ g kg}^{-1}$  时,以“植申2号”和“鲁麦19”的各项生长生理性状指标的隶属度综合值( $\sum X(u)$ )与均值( $\bar{X}(u)$ )最高,其次为“浙麦”和“扬麦158”,而以“鲁麦23”为最低。由此可见,“植申2号”和“鲁麦19”具有较强的抗盐能力,其次为“浙麦”和“扬麦158”,而以“鲁麦23”的抗盐能力相对较弱。(2) 产量性状胁迫指数隶属度及综合值。极端土壤盐渍条件下不同小麦的产量性状胁迫指数(成穗率胁迫指数和籽粒产量胁迫指数)列于表3。其

中成穗率胁迫指数(胁迫指数 I)为盐渍条件下的成穗率与非盐渍条件下的成穗率之比;籽粒产量胁迫指数(胁迫指数 II)为盐渍条件下的籽粒产量与非盐渍条件下的籽粒产量之比。在土壤盐度为  $5.33 \text{ g kg}^{-1}$  时,以“鲁麦 19”的胁迫指数 I 为最高,其次为“植申 2 号”和“浙麦”,而以“扬麦 158”和“鲁麦 23”的胁迫指数 I 为最低;至于胁迫指数 II,以“鲁麦 19”和“植申 2 号”为最高,其次为“扬麦 158”和“浙麦”,而同样以“鲁麦 23”的胁迫指数 II

表 2 极端土壤盐渍条件下小麦抗盐性评价

Table 2 Evaluation of salt resistance of five wheat varieties under extreme saline condition

品种 Variety	叶伸展速率 Leaf expansion rate( $\text{mm d}^{-1}$ )	叶相对含水量 Relative water content(%)	相对电解质 外渗率 Relative electrolyte leakage percentage(%)	干物质胁迫 指数 Dry matter stress index	相对存活率 Relative survival percentage (%)	综合值 $\sum X_{(u)}$ Comprehens- ive value, $\sum X_{(u)}$	均值 $\bar{X}_{(u)}$ Average value, $\bar{X}_{(u)}$
鲁麦 19	1	1	0.851	0.711	1	4.562	0.912**
鲁麦 23	0	0.177	0	0	0	0.177	0.035
植申 2 号	0.862	0.975	1	0.922	0.857	4.616	0.923**
浙麦	0.875	0	0.623	1	0.540	3.037	0.607*
扬麦 158	0.636	0.596	0.482	0.770	0.492	2.976	0.595*

表 3 极端土壤盐渍条件下小麦成穗率胁迫指数与籽粒产量胁迫指数

Table 3 Stress indexes of spike formation percentage and grain yield of five wheat varieties under extreme saline condition

品种 Variety	胁迫指数 I Stress index I	胁迫指数 II Stress index II
鲁麦 19	0.586	0.254
鲁麦 23	0.200	0.058
植申 2 号	0.486	0.243
浙麦	0.463	0.206
扬麦 158	0.333	0.219

为最低。此外,极端土壤盐渍条件下各小麦的胁迫指数 II 均大大低于胁迫指数 I,表明盐度对作物籽粒产量的影响较对成穗率的影响更为深刻(表 3)。产量性状胁迫指数的隶属度可通过下列表达式求得:

$$SI_{(u)} = \frac{SI - SI_{\min}}{SI_{\max} - SI_{\min}}$$

式中,  $SI_{(u)}$  为各小麦某一产量性状胁迫指数的隶属度,  $SI$  为小麦各品种的产量性状胁迫指数,  $SI_{\max}$  为所试小麦品种中产量性状胁迫指数的最大值,  $SI_{\min}$  为产量性状胁迫指数的最小值。极端盐渍条件下不同小麦的产量性状胁迫指数的隶属度与综合值列于表 4。在土壤盐度为  $5.33 \text{ g kg}^{-1}$  时,各小麦产量性状胁迫指数的隶属度情形同产量性状胁迫指数;各小麦的产量性状胁迫指数的隶属度综合值( $\sum X_{(u)}$ )与均值( $\bar{X}_{(u)}$ )均以“鲁麦 19”及“植申 2 号”为最高,其次为“浙麦”和“扬麦 158”,而以“鲁麦 23”的产量性状胁迫指数的隶属度

综合值与均值为最低(表 4)。(3) 生长生理性状隶属度及综合值与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的关系。极端土壤盐渍条件下各生长生理性状隶属度及综合值与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的相关关系列于表 5。相关分析表明,任何一个产量性状胁迫指数与生长生理性状的隶属度均为正相关。除相对含水量的隶属度与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的相关尚未达到显著水平外,干物质胁迫指数的隶属度与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的相关分别达显著与极显著水平,而叶伸展速率、相对存活率、相对电解质外渗率的隶属度与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的相关均达极显著水平。

表 4 极端土壤盐渍条件下小麦产量性状胁迫指数隶属度与综合值

Table 4 Subordinate degree and comprehensive value of stress indexes of yield characters of five wheat varieties under extreme saline condition

品种 Variety	胁迫指数 I Stress index I	胁迫指数 II Stress index II	综合值 $\sum X_{(u)}$ Comprehensive value, $\sum X_{(u)}$	均值 $\bar{X}_{(u)}$ Average value, $\bar{X}_{(u)}$
鲁麦 19	1	1	2	1 <sup>**</sup>
鲁麦 23	0	0	0	0
植申 2 号	0.741	0.944	1.685	0.843 <sup>*</sup>
浙麦	0.681	0.759	1.440	0.720 <sup>*</sup>
扬麦 158	0.346	0.826	1.172	0.586 <sup>*</sup>

表 5 生长生理性状隶属度及其综合值与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between subordinate degree and comprehensive value of growth and physiological characters and stress indexes of yield characters and their subordinate degree comprehensive value

产量指标 Yield index	生长生理性状隶属度 <sup>1)</sup> Subordinate degree of growth and physiological characters					综合值 Comprehensive value
	叶伸展速率	相对含水量	相对电解质外渗率	干物质胁迫指数	相对存活率	
	LER	RWC	REL P	DMSI	RSP	
胁迫指数 I	0.949 <sup>**</sup>	0.578	0.913 <sup>**</sup>	0.743 <sup>*</sup>	0.957 <sup>*</sup>	0.921 <sup>**</sup>
胁迫指数 II	0.961 <sup>**</sup>	0.641	0.925 <sup>**</sup>	0.890 <sup>**</sup>	0.933 <sup>*</sup>	0.969 <sup>**</sup>
隶属度综合值	0.987 <sup>**</sup>	0.631	0.950 <sup>**</sup>	0.846 <sup>*</sup>	0.976 <sup>*</sup>	0.978 <sup>**</sup>

1) LER: Leaf expansion rate; RWC: Relative water content; RELP: Relative electrolyte leakage percentage; DMSI: Dry matter stress index; RSP: Relative survival percentage

\*\* LSD<sub>p</sub> = 0.05, \* LSD<sub>p</sub> = 0.01

各生长生理性状隶属度与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的相关性显著水平不一,但采用各生长生理性状隶属度综合值与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值进行相关分析,其相关关系却能达到极显著水平,表明采用生长生理性状综合指标较采用单一指标来评价作物抗盐性更为可靠。各生长生理性状隶属度综合值与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值的相关关系达极显著水平,同样也证明了小麦苗期抗性表现与后期产量之间密切相关,表明运用苗期综合指标即隶属度综合值可正确评价作物的抗盐性。

### 3 结 论

隶属函数值法分析表明, 极端盐渍条件下, 小麦各项生长生理性状指标隶属度综合值以“植申 2 号”和“鲁麦 19”最高, 其次为“浙麦”、“扬麦 158”和“鲁麦 23”, 反映了前两者具有较强的抗盐性。而小麦产量性状胁迫指数隶属度综合值以“鲁麦 19”及“植申 2 号”最高, 其次为“浙麦”、“扬麦 158”和“鲁麦 23”。相关分析表明, 小麦生长生理性状隶属度综合值与产量性状胁迫指数及其隶属度综合值显著相关。因此, 在早期相关指标测试的基础上, 运用隶属函数值方法, 可综合评价作物的抗盐性。

### 参 考 文 献

1. U. S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil. U. S. Dept. Agric. Hb. No. 60, U. S. Gov. Print Office, 1954
2. Maas E V, Hoffman G J. Crop salt tolerance: Current assessment. J. Irrig. Drainage Div., American Society of Civil Engineers, 1977, 103: 115~ 134
3. Van Genuchten M T, Hoffman G J. Analysis of crop salt tolerance data. In: Shainberg I, Shalhevet J. eds. Soil Salinity under Irrigation, Ecological Studies. Vol. 8. Berlin: Springer Verlag, 1984. 258~ 271
4. 张宪政, 谭桂茹, 黄元极, 宋玉华. 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1989. 84, 171~ 176, 329~ 352
5. 陶向新. 模糊数学在农业科学中的初步应用. 沈阳农业大学学报, 1982, (2): 96~ 107
6. 龚明. 作物抗性鉴定方法与指标及其综合评价. 云南农业大学学报, 1989, 4(1): 73

## EVALUATION OF SALT RESISTANCE OF WHEAT WITH SUBORDINATE FUNCTION VALUE METHOD

Chen De-ming Yu Ren-pei Yang Jing-song

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

### Summary

Responses of five wheat varieties to increasing soil salinity were determined through pot culture experiment. Subordinate function value method (SFVM) was adopted in this paper to evaluate salt resistance of five wheat varieties comprehensively. Relative water content (RWC), relative electrolyte leakage percentage (REL), leaf expansion rate (LER), dry matter stress index (DMSI), relative survival percentage (RSP), spike formation percentage stress index (SFPSI) and grain yield stress index (GYSI) were introduced as the indexes of evaluation. The results of comprehensive evaluation by means of the subordinate degree comprehensive value of growth and physiological characters and stress indexes of yield characters and their average value showed that “Zhishen No. 2” and “Lumai No. 19” were of the highest subordinate degree comprehensive value ( $\sum X(u)$ ) and the largest average value ( $\bar{X}(u)$ ) of these indexes among five wheat varieties under extreme soil salinity, whereas “Lumai No. 23” was of the smallest. It meant that “Zhishen No. 2” and “Lumai No. 19” were of stronger ability of salt resistance, whereas “Lumai No. 23” was of less ability relatively. The statistics also showed that there was positive correlation between the stress indexes of yield characters and subordinate degree of growth and physiological characters.

**Key words** Salt resistance, Wheat, Subordinate function value method, Evaluation