

# 10个燕麦品种对叶斑病抗性的鉴定与评价

张建贵, 赵桂琴\*, 柴继宽, 官文龙, 张宁, 冉婵宇, 杜文盼, 杨莉, 朱青青

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**【目的】探究不同燕麦品种对叶斑病菌的生理响应及综合抗病能力。【方法】测定了燕麦(*Avena sativa*)的10个品种与抗病相关的生理指标, 综合评价了各品种的抗病性。【结果】接种燕麦德氏霉(*Drechslera avenae*)后, 牧王、爱沃、燕王和白燕7号等4个品种的发病率、病情指数分别低于19.05%、8.93, 抗病性相对较强, 而甜燕麦、青海444、陇燕3号、定引1号、定燕2号和牧乐思的发病率、病情指数分别高于21.43%、10.71, 抗病性较弱; 抗病性较强品种的叶绿素(Chl)、可溶性蛋白(SP)含量下降幅度较小, 相对电导率(REC)、丙二醛(MDA)含量上升幅度较小, 可溶性糖(SS)含量、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)活性上升显著( $P < 0.05$ ), 抗病性较弱的品种与其相反。【结论】10个燕麦品种分别为高抗(牧王、爱沃和燕王)、中抗(白燕7号)、中感(甜燕麦、青海444、陇燕3号、定引1号)及感病(定燕2号和牧乐思)。

**关键词:** 燕麦; 叶斑病; 病情指数; 防御酶; 抗氧化酶; 综合评价

**中图分类号:** S544.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2025)02-0043-09

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyxp.2025.02.005



燕麦(*Avena sativa*)是禾本科(Poaceae)燕麦属(*Avena*)一年生草本植物, 广泛种植于我国冷凉地区<sup>[1]</sup>, 随着燕麦产业的发展和种植面积的扩大, 燕麦病害在各主产区时有发生<sup>[2]</sup>, 其中叶斑病发生较为普遍, 冀西北及内蒙古中部地区田间的病叶率达90%以上<sup>[3-4]</sup>, 甘肃陇中、河西地区病叶率分别为96.15%和95.07%<sup>[5]</sup>, 减产5%~10%, 严重者可达30%以上<sup>[3,6]</sup>。

叶斑病主要危害叶片和叶鞘, 发病初期病斑呈灰绿色水渍状, 随着病情加重, 渐变为浅褐色至红褐色椭圆形病斑。燕麦德氏霉(*Drechslera avenae*)是造成叶斑病害的主要病原真菌<sup>[7]</sup>, 该菌在低温、高湿环境中

快速繁殖并依靠气流和风雨传播, 侵染植物叶片出现病斑并扩展成不规则形条斑, 最终导致叶片枯死脱落, 严重影响燕麦品质和产量<sup>[5-8]</sup>。因此, 探究德氏霉侵染后燕麦如何调控生理防御反应, 可为进一步研究燕麦的抗病性奠定基础。

近年来, 为防止燕麦白粉病、黑穗病、红叶病和秆锈病的发生, 科研工作者筛选了大量的抗病品种<sup>[3,9-11]</sup>。而燕麦叶斑病的防治仍旧依靠化学杀菌剂和生防制剂的使用<sup>[12]</sup>, 长期使用化学杀菌剂不仅会对环境造成污染, 还会引发人畜中毒<sup>[13]</sup>; 生防制剂易受外界光照、温湿度、pH及水分等环境因素的影响, 导致防效不佳<sup>[14]</sup>。因此, 筛选燕麦抗叶斑病品种显得至关重要。目前国内外对燕麦的研究主要集中在盐胁迫<sup>[15]</sup>、碱胁迫<sup>[16]</sup>、干旱胁迫<sup>[17]</sup>及病害<sup>[3,9-11]</sup>引起的生理生化变化, 而对于燕麦感染叶斑病的相关研究鲜见报道。因此, 本研究以甘肃种植区常见的10个燕麦品种为试材, 综合评价其抗病性, 旨在筛选出抗病性较好的种质资源, 为叶斑病抗性育种及燕麦叶斑病防治工作提供参考。

**收稿日期:** 2023-04-12; **修回日期:** 2023-04-29

**基金资助:** 国家现代农业产业技术体系(CARS-07-C); 甘肃省优秀研究生“创新之星”项目(2022CXZX-003); 甘肃省优秀博士生项目(22JR5RA841)

**作者简介:** 张建贵(1991-), 男, 甘肃靖远人, 博士研究生。  
E-mail: zhangjgyx@yeah.net

\*通信作者, 研究方向为饲草学及草地生物多样性。  
E-mail: zhaogq@gsau.edu.cn

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试燕麦品种为白燕7号、甜燕麦、定引1号、定

燕2号、青海444、牧王、爱沃、燕王、陇燕3号和牧乐思(表1)。供试病原真菌为燕麦德氏霉,该菌分离于甘肃省天祝县燕麦叶斑病的叶片。10个燕麦品种和病原真菌均由甘肃农业大学草业学院提供。

表1 甘肃燕麦主要的种植地区  
Table 1 The main planting areas of oat in Gansu

序号	品种	种植地点	海拔/m
1	白燕7号	定西通渭县、兰州永登县、张掖山丹县和民乐县、甘南合作市和夏河县	2 300~3 000
2	甜燕麦	武威古浪县和天祝县、张掖山丹县	2 600~2 900
3	定引1号	定西安定区和通渭县、武威天祝县、甘南合作市	1 900~2 700
4	定燕2号	定西通渭县和安定区、甘南合作市	1 900~2 700
5	青海444	武威天祝县	2 600~2 900
6	牧王	定西安定区、张掖山丹县	1 800~2 800
7	爱沃	定西安定区	1 800~2 000
8	燕王	定西安定区	1 800~2 000
9	陇燕3号	定西通渭县、张掖山丹县	2 300~2 800
10	牧乐思	张掖山丹县	2 600~2 800

### 1.2 试验方法

1.2.1 植物材料制备和处理 种子清洗:选取健康饱满的燕麦种子用75%酒精浸泡30 s,0.1%的次氯酸钠溶液消毒1 min,无菌水冲洗4次至刺鼻酸味消失为止,放置于室内自然阴干。

幼苗种植:将基质(土壤与蛭石体积比3:1)混匀放入180℃烘箱中灭菌3 h。供试燕麦播种在装有灭菌基质的培养杯中,每杯10粒,播种后将培养杯放置在光照强度为20~40  $\mu\text{m}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 、相对湿度50%~70%的人工气候室内培养(25℃/16 h、18℃/8 h)。生长2周后,每杯留苗7株,试验设置6次生物学重复。

1.2.2 燕麦叶斑病接菌方法及严重度分级 将培养好的燕麦德氏霉的分生孢子悬浮液用双层灭菌纱布过滤,加无菌水稀释成 $1.0\times 10^4$ 个分生孢子/mL,同时加入0.1% Tween-20,在燕麦2叶期(或生长2周)进行喷雾接菌并用黑色塑料密封保湿48 h,然后取掉黑色塑料,继续在光照强度为20~40  $\mu\text{m}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 、相对湿度50%~70%的人工气候室内培养(25℃/16 h、18℃/8 h)。接菌第15天,根据燕麦叶斑病病级标准(表2)及调查发病情况<sup>[5]</sup>,并采集发病叶片样品进行生理指标测定,试验设置3次重复,以清水处理作为对照。

病叶率=(发病叶片总数/调查叶片总数) $\times$

表2 燕麦叶斑病病级划分标准

Table 2 The classification standard of oat leaf spot

严重度分级	划分标准
0级	无病斑
1级	病斑面积占整片叶面积的1%~10%
2级	病斑面积占整片叶面积的11%~25%
3级	病斑面积占整片叶面积的26%~50%
4级	病斑面积占整片叶面积的51%以上

100%

$$\text{病情指数} = \frac{\sum[\text{各级病叶数} \times \text{各相应病级数}]}{\text{调查总叶数} \times \text{最高病级值}} \times 100\%$$

1.2.3 指标测定 燕麦幼苗接种燕麦德氏霉后第15天进行采样,样品用锡箔纸装袋,封口,经液氮冷冻后放置在-80℃下冷藏备用,用于测定生理生化指标。

生理指标测定:叶绿素(Chl)含量采用乙醇浸提法;相对电导率(REC)采用电导仪;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法<sup>[18]</sup>;可溶性糖(SS)含量采用蒽酮比色法<sup>[18]</sup>;可溶性蛋白(SP)含量采用考马斯亮蓝染色法<sup>[18]</sup>;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法<sup>[18]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法<sup>[18]</sup>;苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性参照王敬文的方法<sup>[19]</sup>;多酚氧化酶(PPO)活性参照Tiffany的方法<sup>[20]</sup>。

### 1.3 数据处理

采用SPSS 19.0系统软件分析数据,采用单因素

Anova对多组样本进行分析处理,Duncan's 新复极差法进行显著性方差分析;采用Microsoft Excel 2016 绘制图表。

运用隶属函数平均值( $D$ 值)法<sup>[21]</sup>,对各指标进行标准化处理。

$$M(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$M(X_j) = (X_{\max} - X_j) / (X_{\max} - X_{\min}), j = 1, 2, 3 \dots n \quad (2)$$

式中: $X_j$ 为指标测定值; $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 分别为所有参试材料某一指标的最小值和最大值;若指标与抗病性呈正相关用公式(1),指标与抗病性呈负相关用公式(2)。

采用加权单因子法将各指标叠加,获得每个品种抗病性的综合评价 $D$ 值: $D = 1/n \sum R(X_i)$ 。抗性评定等级<sup>[21]</sup>: $0.70 \leq D \leq 1.00$ ,高抗; $0.50 \leq D < 0.70$ ,中抗; $0.30 \leq D < 0.50$ ,中感; $0.10 \leq D < 0.30$ ,感病; $D < 0.10$ ,高感。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同燕麦品种叶斑病病叶率和病情指数

接种燕麦德氏霉第15 d,10个品种的叶片出现不同程度的发病症状(图1)。病叶率在1.59%~85.71%之间,病情指数在0.20~45.44(表3)。牧王、爱沃和燕王的病叶率均低于10.00%,其中牧王最低为1.59%;定燕2号、甜燕麦和牧乐思的病叶率均在40%以上,其中牧乐思最高为85.71%。牧王、爱沃、燕王和白燕7号的病情指数均在1.00以下,其中牧王最低,为0.20;牧乐思最高,为45.44。



图1 不同燕麦品种叶斑病发病症状

Fig. 1 Symptoms of leaf spot disease in different oat varieties

### 2.2 接种德氏霉后对不同燕麦品种生理特性的影响

2.2.1 对Chl含量的影响 同一处理不同品种的Chl含量变化不同(图2)。在清水对照(CK)处理中,燕王的Chl含量最高,且显著高于定燕2号(14.31%)、甜燕麦(17.04%)及白燕7号(22.03%)( $P < 0.05$ );在接

表3 燕麦德氏霉胁迫下10个燕麦品种的病情统计

Table 3 Disease statistics of ten *Avena sativa* materials under *D. avenae* stress

序号	品种	病叶率/%	病情指数/%
1	白燕7号	19.05±0.00 <sup>e</sup>	8.93±0.00 <sup>d</sup>
2	甜燕麦	42.86±0.00 <sup>c</sup>	10.71±0.00 <sup>cd</sup>
3	定引1号	21.43±1.37 <sup>e</sup>	11.31±0.00 <sup>c</sup>
4	定燕2号	52.38±2.75 <sup>b</sup>	39.88±0.00 <sup>b</sup>
5	青海444	26.19±2.75 <sup>d</sup>	11.90±0.00 <sup>c</sup>
6	牧王	1.59±0.79 <sup>f</sup>	0.20±0.00 <sup>e</sup>
7	爱沃	3.17±0.79 <sup>f</sup>	0.60±0.00 <sup>e</sup>
8	燕王	3.97±0.79 <sup>f</sup>	0.79±0.20 <sup>e</sup>
9	陇燕3号	26.98±0.79 <sup>d</sup>	10.71±0.00 <sup>cd</sup>
10	牧乐思	85.71±1.37 <sup>a</sup>	45.44±2.07 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示不同品种间差异显著( $P < 0.05$ )。

种德氏霉处理中,燕王和牧王的Chl含量显著高于定燕2号、牧乐思、白燕7号( $P < 0.05$ )。接菌后各品种的Chl含量较对照相比均下降,其中白燕7号、定引1号、青海444、定燕2号和牧乐思与CK存在显著差异( $P < 0.05$ ),下降幅度为5.71%~22.96%。

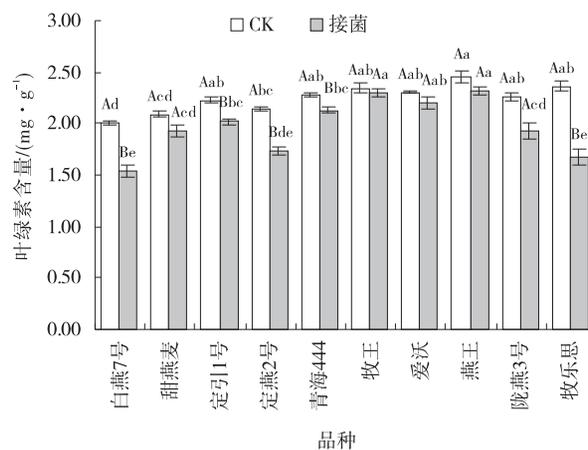


图2 不同燕麦品种的叶绿素含量

Fig. 2 Chlorophyll content of different *Avena sativa* varieties

注:不同大写字母表示同一品种的对照与处理之间差异显著( $P < 0.05$ );不同小写字母表示同一处理不同品种间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

2.2.2 对REC和MDA含量的影响 同一处理不同品种的REC变化不同(图3-A),从CK处理中可以看出,牧乐思与燕王、爱沃和牧王之间存在显著差异( $P < 0.05$ ),差异倍数分别为1.29、1.36和1.47;从接种德氏霉处理中可以看出,定燕2号、牧乐思和青海444的REC较牧王相比分别增加了101.12%、

88.22%和75.38%。同一品种不同处理的REC变化不同,接种德氏霉的燕麦(除牧王)品种REC显著高于CK( $P < 0.05$ ),如定燕2号、青海444和牧乐思的REC与CK相比分别提高了77.36%、47.77%和44.33%。

同一处理不同品种的MDA含量变化不同(图3-B),从CK中可以看出,燕麦MDA含量较高的品种

为定引1号、青海444和牧乐思;从接种德氏霉中可以看出,与牧王相比,牧乐思、定燕2号和陇燕3号的MDA含量分别增加了5.96倍、2.29倍和2.17倍,且牧乐思、定燕2号、陇燕3号的MDA含量显著高于其他品种( $P < 0.05$ )。接种德氏霉的同一燕麦品种MDA含量显著高于CK( $P < 0.05$ )。

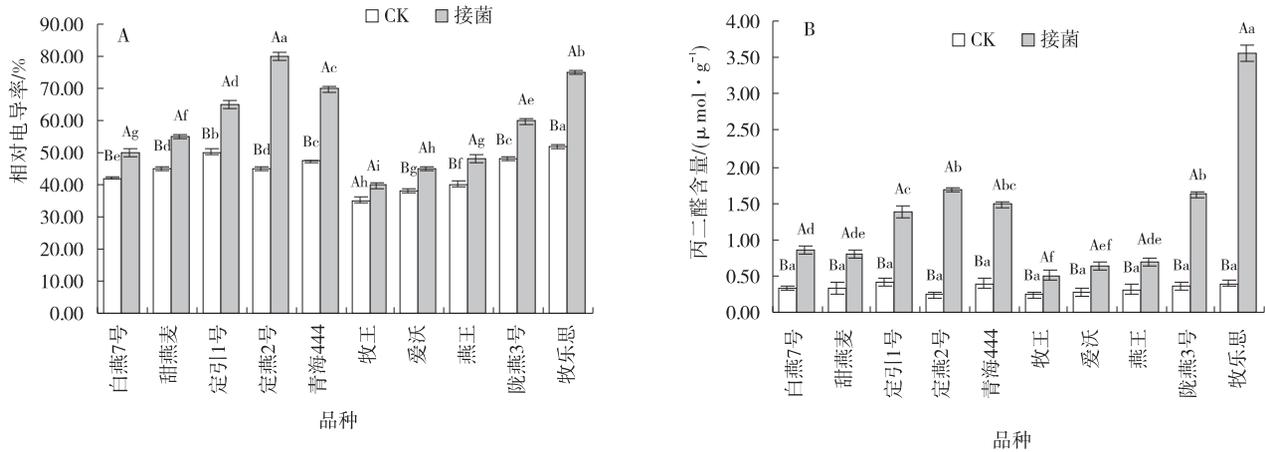


图3 不同燕麦品种的相对电导率和丙二醛含量

Fig. 3 Relative conductivity and malondialdehyde content of different *Avena sativa* varieties

2.2.3 SS和SP含量的影响 同一处理不同品种的SS含量不同(图4-A),从CK处理中可以看出,爱沃、燕王和牧王的SS含量分别显著高于白燕7号、青海444和定引1号( $P < 0.05$ ),爱沃的SS含量分别是白燕7号的1.50倍,青海444的1.90倍、定引1号的2.52倍;从接种德氏霉处理中可以看出,燕王、爱沃的SS含量分别显著高于陇燕3号、牧乐思和定燕2号( $P <$

0.05),燕王的SS含量较陇燕3号、牧乐思和定燕2号相比分别显著增加了229.22%、298.70%和301.31% ( $P < 0.05$ )。同一燕麦品种不同处理的SS含量变化不同,接种德氏霉的燕麦品种SS含量显著高于CK ( $P < 0.05$ ),如品种定引1号、燕王和爱沃牧王的SS含量分别是CK的9.62倍、9.41倍和7.46倍。

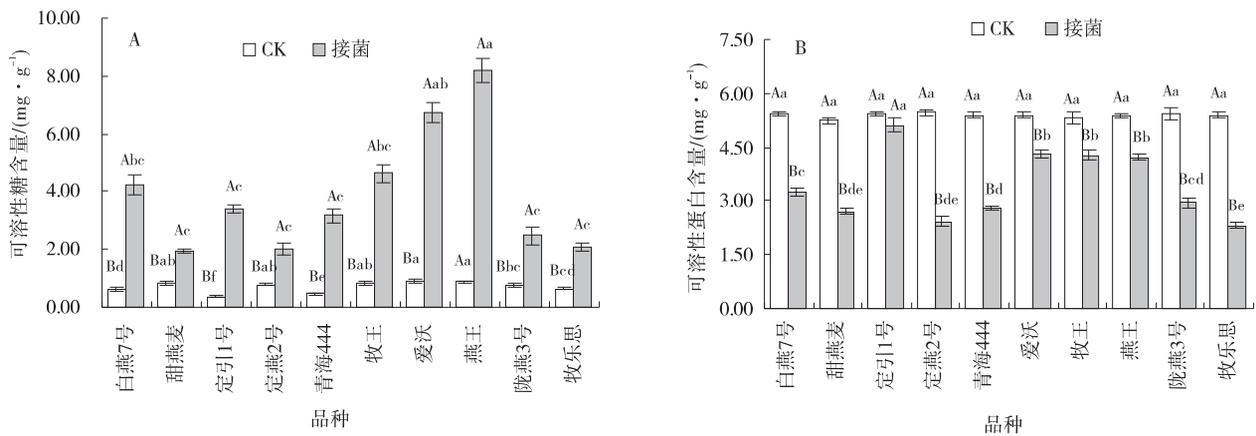


图4 不同燕麦品种的可溶性糖和可溶性蛋白含量

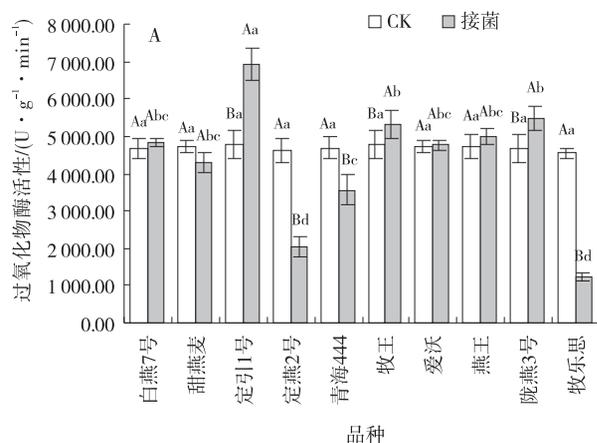
Fig. 4 Soluble sugar and soluble protein content of different *Avena sativa* varieties

同一处理不同品种的SP含量不同(图4-B),从接种德氏霉处理中可以看出,定引1号、爱沃、牧王和燕

王的SP含量分别显著高于甜燕麦、青海444、定燕2号和牧乐思( $P < 0.05$ ),定引1号、爱沃、牧王和燕王的

SP含量是牧乐思的2.20倍、1.86倍和1.82倍( $P < 0.05$ )。同一燕麦品种不同处理的SP含量不同,与CK相比,接种德氏霉后各品种(除定引1号)的SP含量显著下降( $P < 0.05$ ),降幅为5.72%~56.88%,其中牧乐思的SP含量下降最快,下降了56.88%。

2.2.4 对POD活性的影响 同一处理不同品种的POD活性不同(图5-A),从接种德氏霉处理中可以看出,定引1号、陇燕3号和牧王的POD活性分别高于青海444、定燕2号和牧乐思,且存在显著差异( $P < 0.05$ ),定引1号、陇燕3号和牧王分别是牧乐思的5.63倍、4.45倍和4.34倍;同一品种不同处理的POD活性变化不同,与CK相比,接种德氏霉后定引1号、牧王和陇燕3号的POD活性显著增加( $P < 0.05$ ),



而定燕2号、青海444和牧乐思显著降低( $P < 0.05$ )。

同一处理不同品种的SOD活性不同(图5-B),从CK处理中可以看出,爱沃、陇燕3号和白燕7号的SOD活性分别显著高于牧乐思和定燕2号( $P < 0.05$ ),爱沃的SOD活性是牧乐思的1.24倍、定燕2号的1.22倍;从接种德氏霉处理中可以看出,爱沃、牧王和燕王的SOD活性分别显著高于青海444、定燕2号和牧乐思( $P < 0.05$ ),其中爱沃、牧王和燕王分别是牧乐思的4.00倍、3.05倍和2.69倍。同一品种不同处理的SOD活性变化不同,与CK相比,接种德氏霉的爱沃、牧王和燕王分别增加了59.53%、42.09%和20.18%,而其他品种显著降低( $P < 0.05$ ),降幅为19.16%~50.56%。

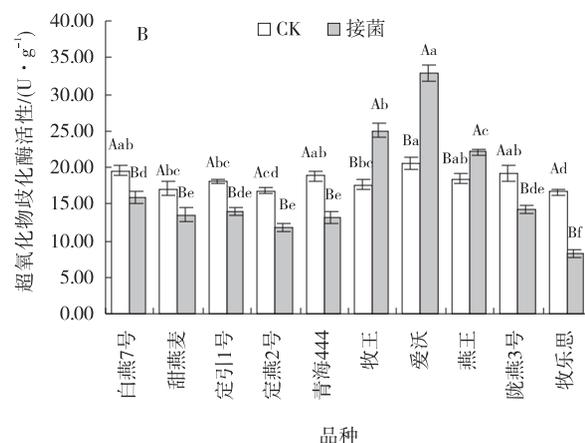


图5 不同燕麦品种的抗氧化酶活性

Fig. 5 Antioxidant enzyme activity of different *Avena sativa* varieties

2.2.5 对防御酶活性的影响 同一处理不同燕麦品种的PAL活性不同(图6-A),从CK处理中可以看出,牧王的PAL活性显著高于青海444、甜燕麦和牧乐思( $P < 0.05$ ),牧王的PAL活性是青海444的1.16倍、甜燕麦的1.22倍和牧乐思的1.27倍;从接种德氏霉处理中可以看出,牧王、燕王和白燕7号的PAL活性分别显著高于定燕2号、青海444和牧乐思( $P < 0.05$ ),牧王的PAL活性分别是定燕2号、青海444和牧乐思的2.15倍、2.62倍和3.22倍。同一燕麦品种在不同处理中的PAL活性变化不同,与CK相比,接种德氏霉的白燕7号、燕王和牧王的PAL活性分别显著增加了11.29%、24.48%和47.17%( $P < 0.05$ ),而定引1号、定燕2号、青海444、陇燕3号和牧乐思的PAL活性显著降低,降幅为20.49%~41.92%( $P < 0.05$ ),其中牧乐思的降幅最大为41.92%。

同一处理不同燕麦品种的PPO活性不同(图6-B),从接种德氏霉处理中可以看出,牧王、爱沃和燕王的PPO活性分别显著高于定燕2号、陇燕3号和牧乐思( $P < 0.05$ ),牧王的PPO活性分别是定燕2号、陇燕3号和牧乐思的3.75倍、3.75倍和4.5倍( $P < 0.05$ )。同一品种不同处理PPO活性变化不同,与CK相比,接种德氏霉的白燕7号、爱沃和牧王的PPO活性分别显著增加了12.50%、14.81%和55.17%( $P < 0.05$ ),而甜燕麦、定引1号、定燕2号、陇燕3号和牧乐思的PPO活性显著降低降幅为10.53%~20.00%( $P < 0.05$ )。

### 2.3 抗病性综合评价

通过隶属函数法对接种德氏霉的10个燕麦品种进行各抗性生理指标平均值综合评价(表4),D值为0.15~0.76。燕王、爱沃和牧王的D值分别为0.72、

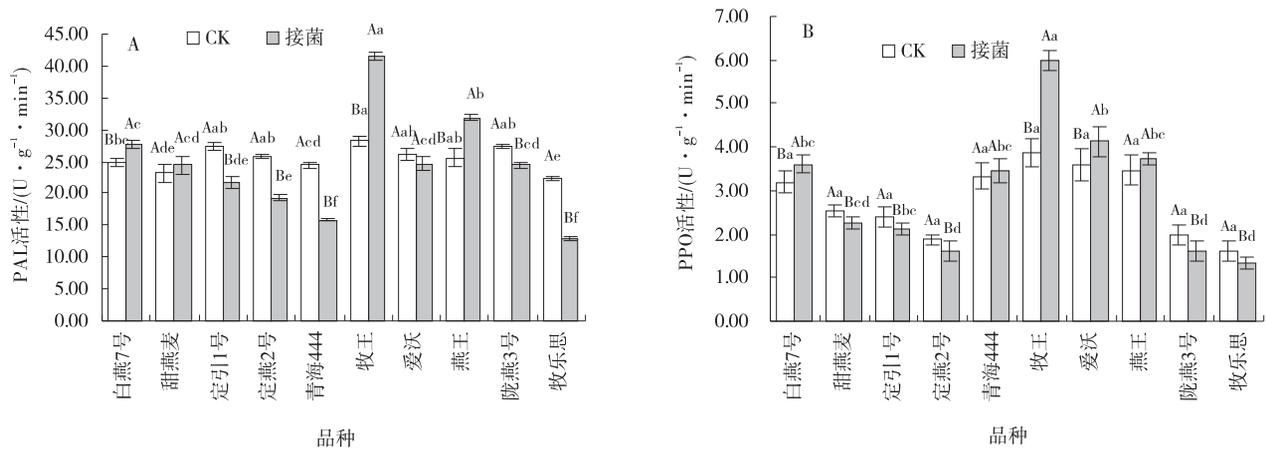


图6 不同燕麦品种的苯丙氨酸解氨酶和多酚氧化酶活性

Fig. 6 Phenylalanineammonialyase and polyphenol oxidase activity of different *Avona sativa* varieties

0.74和0.76,属高抗品种。白燕7号的D值为0.51, 属中抗品种。定引1号、陇燕3号、青海444和甜燕麦的D值分别为0.15和0.27,属感病品种。

表4 10个燕麦品种的抗病性综合评价(D值)

Table 4 Comprehensive evaluation of disease resistance (D value) of ten *A. sativa* varieties

品种	隶属函数									综合评价	排序
	Chl	PPO	POD	SOD	PAL	SP	SS	MDA	ETC		
白燕7号	0.00	0.49	0.64	0.31	0.51	0.68	0.08	0.89	0.75	0.51	4
甜燕麦	0.51	0.20	0.54	0.21	0.40	0.78	0.43	0.91	0.62	0.47	5
定引1号	0.62	0.17	1.00	0.24	0.31	0.34	0.19	0.71	0.38	0.41	8
定燕2号	0.25	0.06	0.14	0.15	0.22	0.28	1.00	0.62	0.00	0.27	9
青海444	0.96	0.46	0.41	0.20	0.10	0.40	0.23	0.68	0.25	0.45	6
牧王	0.87	1.00	0.72	0.68	1.00	0.84	0.01	1.00	0.87	0.76	1
爱沃	0.99	0.60	0.62	1.00	0.41	1.00	0.01	0.96	1.00	0.74	2
燕王	1.00	0.51	0.67	0.56	0.66	0.94	0.00	0.94	0.80	0.72	3
陇燕3号	0.50	0.06	0.75	0.24	0.40	0.55	0.37	0.64	0.50	0.44	7
牧乐思	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.13	0.15	10

注:REC、MDA和SP与植物抗病性负相关,Chl、SS、SOD、POD、PPO和PAL与植物抗病性正相关。

### 3 讨论

Chl是一类与光合作用有关的重要色素,病原菌侵染后加快了植物叶绿体解体,叶片表现褪绿、黄化等症状。本研究发现,抗病性较弱的品种Chl含量下降幅度较大,降幅大于抗病性较强的品种,在发病后期叶片出现不同程度的黄化、干枯等现象。本研究与王军等<sup>[22]</sup>发现燕麦幼苗接种大麦黄矮病毒后燕麦叶片组织严重损伤叶绿素含量下降的结果一致,也与张睿芳等<sup>[12]</sup>研究发现随着叶斑病的病情指数增加,叶片的叶绿素含量呈下降趋势的结果一致,说明了植物叶片的叶绿素含量高低与其抗病性强弱呈正相关性<sup>[23]</sup>。植物在遭受病原菌入侵时,细胞膜通透性增大、电解

质渗漏及膜脂过氧化是植物早期发生最显著的生理变化。本研究发现,抗病性较强的品种REC和MDA含量上升幅度远远低于抗病性较弱的品种,表明抗病性较强的品种细胞膜自身恢复能力好,抗氧化能力强,毒害效应低。抗病性较弱的品种在发病后期MDA含量突增,远大于CK,REC维持在较高水平<sup>[21]</sup>,这与葛秀春等<sup>[24]</sup>发现水稻与稻瘟病菌的互作后水稻的REC和MDA含量呈明显增加,且与品种抗性呈负相关的结果一致,其原因是病原菌产生的毒素破坏了植物细胞膜脂和膜蛋白,从而REC和MDA含量增加<sup>[25]</sup>。可溶性糖作为植物体内小分子溶质,为植物提供碳能量,对细胞膜和原生质胶体起到稳定巩固作用,有效抵御逆境伤害。本研究发现,10个燕麦品种

的SS含量呈现不同程度增加,其中抗病性较强的品种SS积累量显著高于抗病性较弱的品种,其原因是病原菌胁迫后快速积累用来加固细胞壁垒,抵抗菌丝的入侵和扩展。SP可为植物细胞提供基础营养物质,植物在受到生物胁迫时体内正常的蛋白质合成常会受到抑制。本研究发现,不同燕麦品种受到德氏霉入侵后,抗病性较强的品种SP含量降幅较感病品种较小,其原因是抗病性较弱的植物受到生物胁迫时其体内正常的蛋白质合成更易受到抑制,导致SP含量快速下降<sup>[26]</sup>。

叶片受到病原菌侵染后酶活性变化与植物抗病性有关<sup>[27-28]</sup>。在植物的抗病机制中SOD、POD、PAL和PPO等是植物体内重要的抗氧化酶和防御酶<sup>[1]</sup>。本研究发现,接种德氏霉后抗病性较强的品种抗氧化酶的活性显著高于较弱的品种。王光达等<sup>[27]</sup>研究了不同玉米品种对大斑病的抗性与相关防御酶活性,发现大斑病菌侵染后,抗病品种的PAL和PPO或PAL和POD酶活性发生协同增强,田丽波等<sup>[28]</sup>对不同抗白粉病苦瓜的防御酶活性进行研究,发现接种白粉菌后防御酶的活性越高,抗病性越强。本研究发现,接菌后抗病性较强的品种PAL和PPO活性提高幅度较大,这与韩庆典等<sup>[30]</sup>、田丽波等<sup>[28]</sup>的研究结果相似。因此,抗病性较强的品种叶片抗氧化酶和防御酶活性要明显高于抗病性较弱的品种。

叶斑病是限制燕麦产业发展的主要因素之一,筛选和培育抗病品种是防治叶斑病最经济有效的方法<sup>[2,31-32]</sup>。本研究通过抗病性综合评价发现高抗品种有牧王、爱沃和燕王,中感品种有定燕2号和牧乐思。刘万友等<sup>[33]</sup>发现燕麦品种和种植密度互作是影响叶斑病发生程度的主要因素,通过不同燕麦品种对叶斑病的抗性评价,发现河北和内蒙古地区种植白燕2号抗病性较强<sup>[34]</sup>,冀西北地区种植的冀张燕2号抗病性较强,表现为中抗;但也有研究发现,同一燕麦品种在不同地区的发病程度不同<sup>[8]</sup>。本研究仅从Chl、渗透调节物质、抗氧化酶和防御酶活性方面对不同燕麦品种叶斑病抗性进行了研究,旨在为燕麦抗性种质资源利用及病害防治发生提供依据。

#### 4 结论

对不同燕麦品种进行叶斑病抗性鉴定与评价,发

现抗病性较强的燕麦品种,其渗透调节的相关物质含量低于抗病性较弱的品种,Chl含量、SP含量、抗氧化酶和防御酶活性高于抗病性较弱的品种;10个品种中3个表为现高抗(牧王、爱沃和燕王)、1个中抗(白燕7号)、4个中感(甜燕麦、青海444、陇燕3号和定引1号)、2个感病(定燕2号和牧乐思)。

#### 参考文献:

- [1] 慕平,赵桂琴,柴继宽. 基于GGE-Biplot的甘肃省不同生态区燕麦生产性能及适应性分析[J]. 中国生态农业学报,2015,23(6):705-712.
- [2] 李春杰,陈泰祥,赵桂琴,等. 燕麦病害研究进展[J]. 草业学报,2017,26(12):203-222.
- [3] 袁军海,曹丽霞,石碧红,等. 冀西北地区燕麦主栽品种(系)对叶斑病抗性鉴定[J]. 中国植保导刊,2014,34(2):31-34.
- [4] 张笑宇,孙雪梅,周洪友,等. 燕麦叶斑病菌鉴定及其生物学特性[J]. 植物保护学报,2017,44(3):473-480.
- [5] 聂秀美,赵桂琴,孙浩洋,等. 甘肃省燕麦主产区叶斑病调查及病原鉴定[J]. 草业学报,2020,29(4):157-167.
- [6] Jalli M, Laitinen P, Latvala S. The emergence of cereal fungal diseases and the incidence of leaf spot diseases in Finland[J]. Agricultural and Food Science, 2011, 20(1): 62-73.
- [7] Mehta Y R. Molecular and pathogenic variability of *Drechslera* isolates from oats [J]. Tropical Plant Pathology, 2019, 26(3): 590-596.
- [8] 聂秀美,赵桂琴,孙浩洋,等. 天祝县燕麦叶斑病的发生情况及其病原鉴定[J]. 草地学报,2019,27(5):1384-1391.
- [9] 郭斌,郭满库,郭成,等. 燕麦种质资源抗白粉病鉴定及利用评价[J]. 植物保护,2012,38(4):144-146+151.
- [10] 郭成,王艳,张新瑞,等. 燕麦种质抗黑穗病鉴定与评价[J]. 草地学报,2017,25(2):379-386.
- [11] 郭成,周天旺,郭满库,等. 291份燕麦种质资源对红叶病抗性的鉴定[J]. 草原与草坪,2019,39(2):60-65.
- [12] 张睿芳,赵桂琴,曾亮,等. 不同生防药剂对燕麦叶斑病的防治效果[J]. 草业科学,2022,39(11):2393-2402.
- [13] Karunarathne A, Gunnell D, Konradsen F, et al. How many premature deaths from pesticide suicide have occurred since the agricultural green revolution?[J]. Clinical Toxicology, 2020, 58: 227-232.
- [14] Kaewkham T, Hynes R K, Siri B. The effect of accelerated seed ageing on cucumber germination following seed

- treatment with fungicides and microbial biocontrol agents for managing gummy stem blight by *Didymella bryoniae* [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2016, 26 (8) : 1048—1061.
- [15] 梁鹏飞,郭全恩,魏少萍,等. 盐胁迫对8种草本植物幼苗生长和生理特性的影响[J]. *草原与草坪*, 2022, 42 (3):63—72.
- [16] 孙墨可,李俊伟,张曼,等. 碱胁迫对不同品种燕麦幼苗生长及生理特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50 (17):109—114.
- [17] 张国辉,陈彩锦,张尚沛,等. 不同饲用燕麦品种苗期生理抗旱性鉴定评价[J]. *饲料研究*, 2022, 45 (23) : 62—67.
- [18] 李合生. *植物生理生化实验原理和技术*[M]. 北京:高等教育出版社,2000:134—261.
- [19] 王敬文,薛应龙. 植物苯丙氨酸解氨酶的研究—II 苯丙氨酸解氨酶在抗马铃薯晚疫病中的作用[J]. *植物生理学报*, 1982(1):35—43.
- [20] Tiffany H, Gautam S, Frederick B, *et al.* Characterization of oxidative enzyme changes in buffalograsses challenged by *Blissus occiduus*[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2004, 97(3):1086—1095.
- [21] 张露露,刘兴菊,马源,等. 7个常用草地早熟禾品种对立枯丝核菌侵染的生理响应[J]. *草原与草坪*, 2022, 42 (3):81—90
- [22] 王军,赵桂琴,柴继宽,等. 大麦黄矮病毒侵染对燕麦光合及叶绿素荧光参数的影响[J]. *草地学报*, 2020, 28 (4):923—931.
- [23] 欧志远. 叶绿素含量与植物抗病性的关系[J]. *安徽农学通报*, 2007(6):134—135.
- [24] 葛秀春,宋凤鸣,郑重. 膜脂过氧化与水稻对稻瘟病抗性的关系[J]. *浙江大学学报*, 2000(3):29—33.
- [25] 张正禹,董文汉,包文静,等. 立枯丝核菌 AG-11A 对水稻致病力及粗毒素活性的测定方法研究[J]. *植物病理学报*, 2017, 47(1):82—91.
- [26] 李妮亚,高俊凤,汪沛洪. 小麦幼芽水分胁迫诱导蛋白的特征[J]. *植物生理学报*, 1998, (1):65—71.
- [27] 王光达,黄初女,吴委林,等. 不同玉米品种对大斑病的抗性与相关防御酶活性的关系研究[J]. *玉米科学*, 2014, 22(5):146—152.
- [28] 田丽波,杨衍,商桑,等. 不同苦瓜品系的抗白粉病能力及其与防御酶活性的相关性[J]. *沈阳农业大学学报*, 2015, 46(3):284—291.
- [29] 关西贞,张卫东,田纪春. 小麦近等基因系与白粉病菌互作的生理指标研究[J]. *华北农学报*, 2010, 25(1) : 217—221.
- [30] 韩庆典,杨美娟,黄择祥,等. 小麦白粉病菌对小麦幼苗光合生理特性的影响[J]. *基因组学与应用生物学*, 2017, 36(10):4373—4379.
- [31] Da Silva M R, Martinelli J A, Federizzi L C, *et al.* Lesion size as a criterion for screening oat genotypes for resistance to leaf spot[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2012, 134:315—327.
- [32] 叶雪玲,甘圳,万燕,等. 饲用燕麦育种研究进展与展望[J]. *草业学报*, 2023, 32(2):160—177.
- [33] 刘万友,吕世杰,孙雪梅,等. 内蒙古燕麦叶斑病的发生及其影响因素[J]. *植物保护学报*, 2022, 49(2) : 553—558.
- [34] 东保柱,张笑宇,赵桂琴,等. 燕麦品种对叶斑病菌的抗性评价[C]. *中国植物病理学会*, 2015:246.

## Identification and evaluation of different *Avena sativa* varieties resistance to leaf spot

ZHANG Jian-gui, ZHAO Gui-qin\*, CHAI Ji-kuan, GONG Wen-long, ZHANG Ning, RAN Chan-yu, DU Wen-pan, YANG Li, ZHU Qing-qing

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University / Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Education Ministry, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** [Objective] In order to explore the physiological response and comprehensive disease resistance of different oat to leaf spot. [Method] The physiological indexes related to disease resistance of 10 *A. sativa* varieties were

determined and the disease resistance of each variety was comprehensively evaluated. 【Result】 The results showed that the disease incidence and disease index of Muwang, Aiwo, Yanwang and Baiyan 7 after inoculation with *Drechslera avenae* were lower than 19.05% and 8.93, respectively, and disease index of the four varieties were relatively better, while the disease incidence and disease index of sweet oat, Qinghai 444, Longyan 3, Dingyin 1, Dingyan 2 and Mulesi were higher than 21.43% and 10.71, respectively, and the disease resistance was relatively inferiorer. The descent range of chlorophyll (Chl) and soluble protein (SP) content in resistance varieties were comparatively less; The rising range of relative electrical conductivity (REC) and malondialdehyde (MDA) content in resistance varieties was comparatively less; Moreover, soluble sugar (SS) content, peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), phenylalanine ammonia lyase (PAL), polyphenol oxidase (PPO) activity increased significantly in resistant varieties ( $P < 0.05$ ), conversely, the results in inferiorer disease resistance varieties was opposite. 【Conclusion】 The comprehensive evaluation  $D$  value obtained by the membership function method can divide the 10 oat varieties into high resistance (Muwang, Aiwo and Yanwang), medium resistance (Baiyan 7), moderately susceptible (sweet oat, Qinghai 444, Longyan 3 and Dingyin 1) and susceptible (Dingyan 2 and Mulesi).

**Key words:** oat; leaf spot; disease index; defensive enzyme; antioxidant enzyme; comprehensive evaluation

(责任编辑:康宇坤)