

# 苜蓿与无芒雀麦单混播后越冬期根系生理指标的变化及其与抗寒性的关系

申晓慧 (黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江佳木斯 154007)

**摘要** [目的]研究紫花苜蓿与无芒雀麦单混播后越冬期根系 MDA 含量及抗氧化酶活性的变化及其与抗寒性的关系。[方法]通过对 4 种抗寒性不同的紫花苜蓿品种与无芒雀麦单、混播处理后,测定苜蓿根系在整个越冬期间的丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性的变化。[结果]苜蓿单播及与无芒雀麦混播后根系 MDA 含量随温度的变化呈升高、降低、升高的变化趋势;CAT 活性随着自然温度的下降而增加,翌年春随着温度的回升而降低;SOD 和 POD 的活性则随温度的大幅下降呈增加趋势,随着温度继续下降和寒冷时间的延长而有所下降,翌年又随苜蓿返青而有所提高。同一品种不同处理酶活性表现为混播高于单播。运用隶属函数法进行抗寒性综合评判,发现各处理抗寒性从强到弱依次为:Wega7F+无芒雀麦、Wega7F、WL319HQ+无芒雀麦、WL319HQ、驯鹿+无芒雀麦、驯鹿、敖汉+无芒雀麦、敖汉。[结论]该研究结果对于我国北方干旱寒冷地区苜蓿抗寒育种及栽培利用具有重要意义。

**关键词** 紫花苜蓿;无芒雀麦;混播;抗寒性

**中图分类号** S54 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)26-0013-03

## Study on the Changes of Physical Indices of Root in Wintering Period with Single Sowing of *Medicago sativa* and Its Mixed-sowing Treatment with *Bromus inermis* and Their Relations with Cold Resistance

SHEN Xiao-hui (Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007)

**Abstract** [Objective] To study the changes of MDA content and anti-oxidative enzyme activity of root in wintering period with single sowing of *M. sativa* and its mixed-sowing treatment with *B. inermis* and their relations with cold resistance. [Method] Taking four kinds of *M. sativa* (Wega7F, Xunlu, Aohan and WL319HQ) and one kind of *B. inermis* as experimental materials, the changes of MDA, SOD, POD and CAT contents in roots of *M. sativa* during whole wintering period were measured. [Result] The content of MDA change showed up-down-up change trend with temperature by single sowing of *M. sativa* and its mixed-sowing treatment with *B. inermis*. The CAT activity of root increased with air temperature decline, and decreased with air temperature rise in next spring. The SOD and POD activities firstly increased then decreased at lower temperature, and finally increased again in the following spring. Enzymes activities by mixed sowing were all higher than single sowing. Membership function analysis showed the order of cold-resistance of *M. sativa* varieties were Wega7F + *B. inermis* > Wega7F > WL319HQ + *B. inermis* > WL319HQ > Xunlu + *B. inermis* > Xunlu > Aohan + *B. inermis* > Aohan. [Conclusion] It had important significance for cold resistance breeding and cultivation of *M. sativa* in cold region of North China.

**Key words** *M. sativa*; *B. inermis*; Mixed-sowing; Cold resistance

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是我国畜牧业生产中重要的豆科牧草,具有营养价值高、适应区域广、应用年限长、适口性好等优点,是目前我国乃至全世界播种面积最大的豆科牧草之一<sup>[1-3]</sup>。我国北方地区气候干燥寒冷,冬日长,夏日短,苜蓿普遍存在不能安全越冬、翌年不能完全返青的问题。目前,国内学者对苜蓿与禾草混播的研究主要集中在产量和生长动态方面,而对紫花苜蓿在低温胁迫方面的研究较多<sup>[4-5]</sup>,主要集中在形态学指标、生理生化指标<sup>[6-8]</sup>等方面。其中,对丙二醛(MDA)含量及抗氧化酶活性的研究前人也得到了不同的结果。马春平等<sup>[9]</sup>研究表明在正常温度下不同品种苜蓿体内 MDA 含量基本一致,低温处理后不同品种的 MDA 含量会明显上升。由继红等<sup>[10]</sup>认为不同品种的苜蓿 MDA 的生成量不同,抗寒性越强的品种的 MDA 积累量越低,而超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性强的品种和 POD 同工酶带数多的品种抗寒性强。魏臻武等<sup>[11]</sup>认为在苜蓿抗寒锻炼中 SOD 起到重要的保护作用,随着苜蓿抗寒力的提高,SOD 活性下降。前人研究均是 1 种或 2 种氧化酶活性对苜蓿单播的研究,而通过苜蓿与禾草混播的栽培方式改变苜蓿根系微环境,研究苜蓿根系越冬期间 MDA 及

三大抗氧化酶活性变化与苜蓿抗寒性关系的研究鲜见报道。笔者通过不同品种紫花苜蓿与禾草无芒雀麦单、混播处理,调查它们的越冬率,并对单播、混播处理的不同苜蓿根系 MDA 及酶促防御系统的三大保护性酶活性进行测定。利用模糊数学中的隶属函数法对其生理生化指标进行抗寒性评价,研究不同品种间及混播与单播处理间 MDA 含量及三大抗氧化酶活性与抗寒性的关系,旨在为我国北方干旱寒冷地区苜蓿抗寒育种及栽培利用提供技术支撑。

### 1 材料与方法

**1.1 供试材料** 苜蓿种子选用 Wega7F(佳木斯分院提供)、驯鹿和敖汉(黑龙江省畜牧研究所提供)、WL319HQ(美国品种)、禾草无芒雀麦(*Bromus inermis* Leyss)均由北京正道生态科技有限公司提供。

**1.2 试验设计** 苜蓿播种日期为 2013 年 5 月 28 日,出苗日期为 6 月 14 日。条播每个处理设置 3 m×4 m 的小区,行间距 30 cm,播种深度 3 cm,苜蓿单播播量为 22.5 kg/hm<sup>2</sup>,与无芒雀麦混播播量为 4.5 kg/hm<sup>2</sup>,无芒雀麦播量为 15.75 kg/hm<sup>2</sup>,试验重复 3 次。小区之间设置 50 cm 区道。大田采用正常管理。试验设置 8 个处理,处理 I 为 Wega7F 单播,处理 II 为 Wega 7F 与无芒雀麦混播,处理 III 为驯鹿单播,处理 IV 为驯鹿与无芒雀麦混播,处理 V 为敖汉单播,处理 VI 为敖汉与无芒雀麦混播,处理 VII 为 WL319HQ 单播,处理 VIII 为

**作者简介** 申晓慧(1979-),女,吉林扶余人,助理研究员,在读博士,从事牧草栽培方面的研究。

**收稿日期** 2016-07-10

WL319HQ 与无芒雀麦混播。

**1.3 样品采集与保存** 试验取样时间分别为 2013 年 10 月 15 日、10 月 30 日、11 月 15 日及 2014 年 3 月 30 日、4 月 15 日、4 月 30 日,在各试验小区随机挖取紫花苜蓿的根,实验室内将根洗净,液氮固定,于  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存,试验时取根系靠近根颈处 5 cm 根长进行各项生理生化指标的测定。

**1.4 生理指标的测定** MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法;SOD 活性的测定采用氮蓝四唑法;POD 活性的测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用紫外吸收法<sup>[12]</sup>。

**1.5 数据统计与分析** 试验原始数据使用 Excel 2013 录入并进行数据处理与绘图,使用 SAS 8.0 统计软件进行显著性分析,采用 Duncan's 法进行多重比较。应用模糊数学中隶

属函数法进行抗寒性综合评价<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 MDA 含量的变化** 由表 1 可知,10 月 15 日至 30 日,随着外界环境温度的逐渐降低,MDA 含量迅速升高,平均含量由  $27.8\text{ }\mu\text{mol/g}$  上升到  $39.6\text{ }\mu\text{mol/g}$ ,平均增加 29.9%。Wega7F 苜蓿单播、混播处理 MDA 含量增加最少,敖汉苜蓿单播处理 MDA 含量增加最多,说明在低温胁迫条件下不同品种苜蓿对低温胁迫的耐受能力不同。11 月 15 日,由于外界自然环境温度的持续下降,MDA 含量也随之大幅度下降,此时,Wega7F 单播、混播处理 MDA 含量下降幅度最大,MDA 含量越低,说明其抗氧化能力越强。MDA 含量在整个越冬期保持在较低水平。翌年苜蓿返青后,各种能量代谢开始加速,MDA 含量略有升高,逐渐恢复到正常水平。

表 1 不同处理紫花苜蓿根系 MDA 含量的变化

Table 1 Changes of MDA contents in roots of *M. sativa* under different treatments

$\mu\text{mol/g}$

处理 Treatment	取样日期 Sampling date					
	2013-10-15	2013-10-30	2013-11-15	2014-03-30	2014-04-15	2014-04-30
I	21.62 ± 0.54 bc	40.13 ± 0.96 a	17.23 ± 0.06 c	17.85 ± 0.15 c	23.76 ± 0.56 b	26.76 ± 0.68 b
II	27.87 ± 0.75 a	30.32 ± 0.48 a	16.57 ± 0.24 c	17.01 ± 0.73 c	21.32 ± 0.01 bc	23.37 ± 0.23 b
III	35.80 ± 0.12 b	40.89 ± 0.09 a	21.46 ± 0.63 c	22.04 ± 0.94 c	23.75 ± 0.85 c	25.47 ± 0.35 c
IV	27.65 ± 0.82 b	33.35 ± 0.16 a	17.98 ± 0.32 d	20.43 ± 0.89 d	22.57 ± 0.43 c	23.74 ± 0.65 c
V	32.07 ± 0.04 b	51.00 ± 0.37 a	28.67 ± 0.61 c	22.17 ± 0.61 d	26.31 ± 0.61 c	28.64 ± 0.23 c
VI	27.26 ± 0.64 b	41.88 ± 0.82 a	21.45 ± 0.19 c	18.26 ± 0.64 d	25.87 ± 0.46 b	25.07 ± 0.56 b
VII	27.68 ± 0.97 b	41.85 ± 0.64 a	20.16 ± 0.52 c	21.56 ± 0.77 c	21.75 ± 0.66 c	27.68 ± 0.98 b
VIII	22.45 ± 0.34 b	37.68 ± 0.43 a	18.24 ± 0.07 c	20.07 ± 0.37 b	21.38 ± 0.61 b	22.85 ± 0.55 b

注:同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different small letters in each row indicated significant difference at the level of 0.05.

**2.2 SOD 活性的变化** 由表 2 可知,不同品种紫花苜蓿单、混播根系 SOD 活性的变化趋势为先升高后下降再升高,随着外界环境温度的下降,各处理根系 SOD 活性呈持续的增加趋势;除了敖汉苜蓿单播在 10 月 30 日 SOD 活性达到最大值外,其他处理均在 11 月 15 日达到最大值,其中抗寒性较强的品种 Wega7F 的混播处理及 WL319HQ 单播处理的 SOD 活性显著高于其他品种( $P < 0.05$ )。究其原因,可能是在外界低温胁迫条件下大量的活性氧蓄积在细胞内,为了适应胁

迫环境,植物本能地启动了自我保护机制,通过 SOD 活性的提升来防御活性氧损害。2014 年 3 月 30 日 SOD 活性较 2013 年 11 月 15 日下降,说明在持续寒冷的季节 SOD 活性一直保持在较高水平。2014 年 4 月 15 日至 30 日,随着气温持续不断回升,除 Wega7F 混播及驯鹿单、混播 SOD 活性有所下降外,其他品种及处理 SOD 活性均呈升高趋势,且整个越冬前后同一品种混播处理的 SOD 活性高于单播处理。

表 2 不同处理紫花苜蓿根系 SOD 活性的变化

Table 2 Changes of SOD activities in roots of *M. sativa* under different treatments

$\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$

处理 Treatment	取样日期 Sampling date					
	2013-10-15	2013-10-30	2013-11-15	2014-03-30	2014-04-15	2014-04-30
I	297.54 ± 0.34 d	492.76 ± 0.73 b	678.14 ± 0.64 a	393.74 ± 0.54 c	510.74 ± 0.99 b	519.71 ± 0.67 b
II	323.67 ± 0.50 d	531.42 ± 0.54 b	889.55 ± 0.17 a	430.34 ± 0.72 c	535.51 ± 0.16 b	523.16 ± 0.82 b
III	450.74 ± 0.02 e	643.24 ± 0.80 b	695.67 ± 0.03 a	425.74 ± 0.64 e	545.25 ± 0.67 c	495.34 ± 0.04 d
IV	398.53 ± 0.64 d	675.89 ± 0.91 a	684.51 ± 0.14 a	481.35 ± 0.18 c	573.44 ± 0.04 b	532.41 ± 0.08 b
V	369.29 ± 0.77 cd	524.47 ± 0.87 a	494.81 ± 0.57 a	294.37 ± 0.26 e	356.65 ± 0.71 d	397.33 ± 0.27 c
VI	356.20 ± 0.87 b	532.22 ± 0.15 a	536.27 ± 0.70 a	225.18 ± 0.76 c	345.75 ± 0.46 b	358.46 ± 0.16 b
VII	334.57 ± 0.15 c	524.35 ± 0.67 b	724.35 ± 0.45 a	355.35 ± 0.91 c	343.21 ± 0.51 c	476.35 ± 0.37 b
VIII	298.46 ± 0.84 f	598.37 ± 0.72 b	698.37 ± 0.02 a	413.22 ± 0.51 d	375.31 ± 0.34 e	486.72 ± 0.34 c

注:同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different small letters in each row indicated significant difference at the level of 0.05.

**2.3 POD 活性的变化** 由表 3 可知,POD 与 SOD 活性的变化趋势基本一致,但不同品种及处理 POD 活性均在 11 月 15 日达到最大值,与 10 月 30 日处理差异达到显著水平( $P < 0.$

05)。此外,不同品种及处理间 POD 活性的增加幅度也不同,Wega7F POD 活性增加最多,说明此时其抗氧化能力最强,其次是 WL319HQ 和驯鹿,敖汉苜蓿单播处理最低。从

2013年10月30日至2014年4月15日,POD活性呈下降趋势。4月30日,气温逐渐上升,苜蓿返青,胁迫解除,苜蓿代谢能力逐渐旺盛,POD活性又有所增强。此时,除敖汉苜蓿

单播处理POD活性略低外,其他品种及处理POD活性基本一致。

表3 不同处理紫花苜蓿根系POD活性的变化

Table 3 Changes of POD activities in roots of *M. sativa* under different treatments

U/(g·min)

处理 Treatment	取样日期 Sampling date					
	2013-10-15	2013-10-30	2013-11-15	2014-03-30	2014-04-15	2014-04-30
I	123.54 ± 0.75 d	245.82 ± 3.15 b	291.04 ± 0.84 a	242.41 ± 0.67 b	195.07 ± 0.68 c	237.41 ± 0.86 b
II	135.74 ± 0.80 d	257.13 ± 0.16 b	302.43 ± 0.04 a	250.42 ± 0.75 b	187.76 ± 0.42 c	245.78 ± 0.55 b
III	129.67 ± 0.42 d	235.53 ± 0.75 b	267.26 ± 0.75 a	266.43 ± 0.82 a	115.76 ± 0.34 e	247.77 ± 0.74 c
IV	153.47 ± 0.45 d	237.38 ± 0.24 c	276.71 ± 0.38 a	263.54 ± 0.43 a	126.64 ± 0.42 e	245.65 ± 2.13 b
V	107.56 ± 0.14 e	148.64 ± 0.75 d	255.74 ± 0.62 a	227.91 ± 0.15 b	149.78 ± 0.61 d	204.82 ± 0.42 c
VI	124.75 ± 0.08 e	171.51 ± 0.25 c	260.37 ± 0.28 a	250.32 ± 0.18 a	153.64 ± 0.34 d	242.51 ± 0.67 ab
VII	148.25 ± 0.63 e	228.46 ± 0.45 c	277.47 ± 0.03 a	246.50 ± 0.61 b	203.42 ± 0.07 d	239.51 ± 0.72 b
VIII	157.39 ± 0.04 e	240.55 ± 1.18 c	284.71 ± 0.07 a	276.01 ± 0.34 a	218.30 ± 0.31 d	250.31 ± 1.05 b

注:同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different small letters in each row indicated significant difference at the level of 0.05.

**2.4 CAT活性的变化** 由表4可知,不同品种及处理紫花苜蓿根系CAT活性的变化随着外界环境气温的变化先上升后下降。10月15日至11月15日,随着外界环境温度的不断下降,各根系CAT活性普遍升高,变化幅度较大。We-

ga7F、引进品种WL319HQ单、混播及驯鹿混播处理根系组织的CAT活性在11月15日达到最高值,其他品种及处理在10月30日出现最大值,翌年随着季节气温的逐渐回暖,CAT活性显著下降( $P < 0.05$ ),其中敖汉苜蓿下降最快。

表4 不同处理紫花苜蓿根系CAT活性的变化

Table 4 Changes of CAT activities in roots of *M. sativa* under different treatments

U/(g·min)

处理 Treatment	取样日期 Sampling date					
	2013-10-15	2013-10-30	2013-11-15	2014-03-30	2014-04-15	2014-04-30
I	27.23 ± 0.35 c	36.73 ± 0.52 b	88.41 ± 0.01 a	36.53 ± 0.61 b	25.78 ± 0.43 c	18.54 ± 0.95 c
II	28.56 ± 0.74 d	38.54 ± 0.43 c	99.75 ± 0.64 a	57.63 ± 0.30 b	31.54 ± 0.52 c	21.37 ± 0.82 d
III	38.47 ± 0.01 b	65.51 ± 0.12 a	45.37 ± 0.73 b	35.31 ± 0.01 b	18.71 ± 0.28 c	11.34 ± 0.05 c
IV	32.31 ± 0.24 b	67.37 ± 0.04 a	72.37 ± 0.05 a	47.54 ± 0.73 b	22.34 ± 0.04 c	16.48 ± 0.16 d
V	54.65 ± 0.16 b	69.53 ± 0.33 a	49.18 ± 0.23 b	52.42 ± 0.43 b	15.67 ± 0.16 c	9.64 ± 0.43 d
VI	19.24 ± 0.47 c	52.37 ± 0.73 a	46.37 ± 0.17 b	27.69 ± 0.25 c	21.38 ± 0.37 c	16.37 ± 0.40 d
VII	41.52 ± 0.25 c	47.55 ± 0.62 b	82.36 ± 0.03 a	46.62 ± 0.19 b	45.65 ± 0.69 bc	9.82 ± 0.05 d
VIII	22.85 ± 0.14 c	31.68 ± 0.43 b	95.19 ± 0.84 a	34.18 ± 0.47 b	29.64 ± 0.38 b	7.46 ± 0.94 d

注:同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different small letters in each row indicated significant difference at the level of 0.05.

**2.5 不同品种苜蓿单、混播后抗寒的评价** 通过对越冬率、MDA及植物防御系统的三大抗氧化酶活性的测定,利用隶属函数法对4种不同紫花苜蓿品种单播及与无芒雀麦混播进行综合分析。隶属函数值越高,说明品种的抗寒性越强,反之,其抗寒性越差。隶属函数综合评价结果表明,同一品种混播处理的抗寒性略高于苜蓿单播,抗寒性高的单播品种,与无芒雀麦混播后其抗寒性仍然较高。各处理抗寒性从强到弱依序为:Wega7F+无芒雀麦、Wega7F、WL319HQ+无芒雀麦、WL319HQ、驯鹿+无芒雀麦、驯鹿、敖汉+无芒雀麦、敖汉(表5)。

### 3 结论与讨论

MDA是植物细胞膜脂过氧化的重要指标之一,其含量反映植物组织的抗氧化能力的强弱。目前,王运涛等<sup>[14]</sup>研究表明植物在遭受低温胁迫时体内MDA含量会有所升高,这与该试验结果相吻合。在一定的低温范围内,SOD、CAT、POD等保护酶活性的提高有利于保持植物体内自由基的产生和清除之间的平衡,减轻活性氧对植物的损害,增强植物

表5 不同苜蓿品种单播及与无芒雀麦混播根系生理指标的隶属函数值

Table 5 Subordinate function values of physical indices in root of *M. sativa* under single and mixed sowing treatments

处理 Treatment	MDA含量	SOD活性	POD活性	CAT活性	均值 Average
	MDA content	SOD activity	POD activity	CAT activity	
I	0.596	0.695	0.685	0.467	0.611
II	0.551	0.741	0.674	0.315	0.570
III	0.485	0.645	0.597	0.471	0.550
IV	0.511	0.524	0.615	0.231	0.470
V	0.397	0.412	0.401	0.299	0.377
VI	0.416	0.432	0.413	0.301	0.391
VII	0.389	0.479	0.348	0.216	0.358
VIII	0.352	0.412	0.409	0.314	0.372

的耐寒性。该试验结果表明,田间越冬初期,各品种及处理的抗氧化酶迅速增加,敖汉苜蓿的SOD和CAT酶活性在10月末达到最大值,其他品种的酶活性均在11月中旬升至最高,各品种及处理根系POD酶活性均在11月中旬达到最大

(下转第19页)

PC021120-152 菌株的最佳产分生孢子条件为:初始碳源浓度为 3.00 g/L,碳氮摩尔比为 2.5:1,最佳碳氮源组合为 D-果糖/NaNO<sub>3</sub>,最佳 pH 为 5.0。由此可见,厚垣孢普可尼亚菌 PC021120-152 菌株的最佳产分生孢子和厚垣孢子的营养条件不同,在该生防菌剂的发酵调控中根据需求选择最适合的产孢条件。

培养基的组成和配比合适与否对微生物的生长、繁殖、代谢和产物形成都会产生相当大的影响。影响真菌产孢的因素主要有培养基的营养、pH、湿度、无机盐。培养基的营养成分不能太丰富,碳源、氮源不宜过多,尤其是有机氮源含量要少一些,否则不易形成孢子,而无机盐的用量会影响孢子的颜色和数量<sup>[6]</sup>。关于营养、pH、温度、光照、水活度等条件对厚垣孢普可尼亚菌产分生孢子的影响已有报道<sup>[5,7-10]</sup>,但这些条件对其产厚垣孢子的影响却鲜有报道。厚垣孢子的产生是菌株应对营养缺失或者其他环境压力(如高温、高压、干燥等)的一种方式<sup>[11]</sup>,使其易在土壤中存活。孢子是真菌杀虫剂的主要成分,能否在人工培养基上产生大量孢子是评价菌株作为是否有潜力的重要标准。液固双相发酵在微生物大批量培养中应用广泛,它是指经液体深层发酵培养出菌丝或孢子后接入固体培养基上产生孢子的方法,此过程与两步培养法相似。Sun 等<sup>[4]</sup>研究表明采用两步培养法获得的最佳碳氮源产孢量比连续培养法相应的碳氮源产孢量多。在连续培养中,菌丝营养生长会改变培养基的成分,降低其

营养,无法确定真菌产孢阶段的起始浓度。采用两步培养法确定的真菌产孢营养环境条件对于指导真菌生防菌剂的生产、提高固态发酵的产孢量具有一定的意义。

## 参考文献

- [1] 肖顺. 根结线虫寄生真菌资源与淡紫拟青霉 PL89 的研究[D]. 福州:福建农林大学,2006;11-12.
- [2] 卢明科,潘沧桑,李舟. 厚垣轮枝孢菌(*Verticillium chlamyosporium*)防治植物线虫研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(4):103-106.
- [3] 方中达. 植病研究方法[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,1998:50.
- [4] SUN M H,GAO L,LIU X Z,et al. Fungal sporulation in two-stage cultivation[J]. *Mycosystema*,2009,28(1):64-72.
- [5] GAO L,LIU X Z,SUN M H,et al. Use of a novel two-stage cultivation method to determine the effects of environmental factors on the growth and sporulation of several biocontrol fungi[J]. *Mycoscience*,2009,50(4):317-321.
- [6] 曹军卫,马辉文. 微生物工程[M]. 北京:科学出版社,2002:80-90.
- [7] 高利. 液体与固体培养几种生防真菌的营养研究[J]. 中国生物防治,2009,25(4):322-327.
- [8] MO M H,XU C K,ZHANG K Q. Effect of carbon and nitrogen sources, carbon-to-nitrogen ration, and initial pH on the growth of nematophagous fungus *Pochonia chlamyosporia* in liquid culture[J]. *Mycopathologia*,2005,159:381-387.
- [9] LIU X Z,CHEN S Y. Nutritional requirements of *Pochonia chlamyosporia* and ARF18, fungal parasites of nematode eggs[J]. *Invertebr Pathol*,2003,83:10-15.
- [10] XU L L,LI F,XIE H Y,et al. A novel method for promoting conidial production by a nematophagous fungus, *Pochonia chlamyosporia* AS6.8[J]. *World J Microbiol Biotechnol*,2009,25(11):1989-1994.
- [11] 刘静,李中元,王军娥,等. 丝状真菌产孢机制及其相关基因研究进展[J]. 贵州农业科学,2009,37(4):81-83.
- [12] 孙广玉,李威,蔡敦江,等. 高寒区苜蓿越冬的生理适应性[J]. 东北林业大学学报,2005,23(6):51-53.
- [13] 纪荣花,于磊,鲁为华. 不同苜蓿品种建植当年田间生长发育与根系特征比较[J]. 草原与草坪,2011,31(5):21-26.
- [14] 崔国文. 紫花苜蓿田间越冬期抗寒生理研究[J]. 草地学报,2009,17(2):145-150.
- [15] VIANDS D R. Variability and selection for characters associated with root regeneration capability in alfalfa[J]. *Crop Sci*,1998,28:232-236.
- [16] 马春平,宋丽萍,崔国文. 紫花苜蓿抗寒生理指标的比较研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2006(6):647-648.
- [17] 由继红,杨文杰,李淑云. 不同品种紫花苜蓿抗寒性的研究[J]. 东北师大学报(自然科学版),1995(2):102-105.
- [18] 魏臻武,王德贤,贺连昌. 超氧化物歧化酶在苜蓿抗寒锻炼过程中的作用[J]. 草业科学,2006,23(7):15-18.
- [19] 申晓慧,姜成,李如来,等. 3种紫花苜蓿与草地羊茅草、混播越冬期根系生理变化及抗寒性研究[J]. 草业科学,2016,33(2):268-275.
- [20] 南丽丽,师尚礼,陈建纲,等. 不同根型苜蓿根系对低温胁迫的响应及其抗寒性评价[J]. 中国生态农业学报,2011,19(3):619-625.
- [21] 王运涛,于林清,萨仁. 苜蓿抗寒性研究进展[J]. 草原与草坪,2012,32(3):91-96.
- [22] GERLOFF E S. Soluble protein in alfalfa root as related to cold hardiness[J]. *Plant Physiol*,2007,42:895.
- [23] 南丽丽,师尚礼,朱新强,等. 田间越冬期不同根型苜蓿根系的生理生化特性[J]. 核农学报,2011,25(2):369-374.

(上接第 15 页)

值,且同一品种抗寒性较强的苜蓿单、混播处理间差异也较大。这与 Gerloff<sup>[15]</sup>提出抗寒性强的苜蓿品种 POD 和 CAT 的活性及 2 种新同工酶的合成能力要比抗寒性弱的品种高以及南丽丽等<sup>[6]</sup>报道随着秋冬温度的降低,苜蓿过氧化物酶活性明显增加,有利于提高苜蓿抗寒性的研究结果相一致。

笔者采用隶属函数法对各处理的 MDA、SOD、POD 及 CAT 指标进行了综合评判,得出其抗寒性从强到弱依次为:Wega7F + 无芒雀麦、Wega7F、WL319HQ + 无芒雀麦、WL319HQ、驯鹿 + 无芒雀麦、驯鹿、敖汉 + 无芒雀麦、敖汉。

## 参考文献

- [1] 夏明,刘亚学,阿拉木斯,等. 低温下苜蓿叶片膜脂脂肪酸组成的研究[J]. 中国草地,2002,24(6):28-37.
- [2] 冯昌军,罗新义,沙伟,等. 低温胁迫对苜蓿品种幼苗 SOD、POD 活性和脯氨酸含量的影响[J]. 草业科学,2005,22(6):29-32.
- [3] 邓雪柯,乔代蓉,李亮,等. 低温胁迫对紫花苜蓿生理特性影响的研究[J]. 四川大学学报(自然科学版),2005,42(1):191-193.
- [4] 张荣华,李拥军,张叶玲. 脯氨酸含量对苜蓿抗寒性影响的研究[J]. 现代化农业,2006(4):17-18.