

## 淹水胁迫对不同苜蓿品种抗氧化酶和产量的影响

董慧<sup>1</sup>, 徐为宁<sup>1</sup>, 赖念<sup>1</sup>, 魏素君<sup>1</sup>, 齐龙昌<sup>2</sup>, 曹刚<sup>2</sup>, 董召荣<sup>2</sup>

(1.安徽省司尔特肥业股份有限公司, 安徽宁国 242300; 2.安徽农业大学农学院, 安徽合肥 230036)

**摘要** 为筛选出对淹水胁迫具相对较强适应性的品种, 研究了淹水处理对不同苜蓿品种抗氧化酶和产量的影响, 以金皇后 (Jh)、阿尔金刚 (Ar)、维多利亚 (Wd)、巨能 551 (J551) 和巨能耐湿 (Jn) 5 个紫花苜蓿品种为材料, 于始花期进行淹水处理, 分别在淹水 0, 1, 2, 3, 4, 5 天取样, 测定叶片抗氧化酶活性和丙二醛 (MDA) 含量, 并进行产量测定。结果表明, 巨能耐湿叶片的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 等抗氧化酶活性较高, 巨能 551 和金皇后次之, 阿尔金刚和维多利亚相对最低。而叶片中丙二醛 (MDA) 含量变化与之相反, 表现为阿尔金刚和维多利亚含量最高, 金皇后次之, 巨能 551 和巨能耐湿相对最低, 且胁迫结束时, 二者与其他 3 个品种差异达到极显著。产量比较显示, 整个胁迫周期内巨能耐湿产量下降幅度最小, 且下季产量恢复较快, 产量水平较高。巨能 551 和金皇后次之, 阿尔金刚和维多利亚当季产量下降幅度最大, 下季产量恢复情况较差。淹水胁迫下, 巨能耐湿在整个周期内受胁迫伤害最小, MDA 的积累最小, 而活性氧清除酶最多, 细胞膜受伤程度最小, 有利于植株抗淹水胁迫能力的提高, 可以在我国淮河以南多雨地区推广种植。

**关键词** 苜蓿; 淹水胁迫; 抗氧化酶; 产量

## Effects of Waterlogging Stress on Antioxidant Enzymesin and Yield of Different Alfalfa Varieties

Dong Hui<sup>1</sup>, Xu Weining<sup>1</sup>, Lai Nian<sup>1</sup>, Wei Sujun<sup>1</sup>,

Qi Longchang<sup>2</sup>, Cao Gang<sup>2</sup>, Dong Zhaorong<sup>2</sup>

(1.Anhui Sierte Fertilizer Industry Co., LTD. Ningguo, Anhui 242300, China;

2.School of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

**Abstract:** In order to explore the effects of waterlogging stress on antioxidant enzymes and yield of different Alfalfa varietieshas and get stronger adaptability to waterlogging stress, the study selected five varieties including Jh, Ar, Wd, J551 and Jn in experiment. Six waterlogging treatments: 0, 1, 2, 3, 4 and 5 days of waterlogging were imposed on first flowering dates. The antioxidant enzymesin, malondialdehyde contents and yields of five Alfalfa varieties were evaluated in this six treatments. The results showed that: The activity of SOD, POD and CAT of Jn were the highest, J551 and Jh comes second, Ar and Wd was

relatively the lowest. The content of MDA was oppositely compare with the activity of antioxidant enzyme. The accumulations of MDA of Ar and Wd were the highest, and the content of MDA of J551 and Jn were the lowest. It was noted that the MDA contents of J551 and Jn were extremely significant difference with others at the end of the treatment. The result of yield showed that: In the experiment, the decrease arrange of the yield of Jn was least, and the yield recovered quickly after waterlogging stress, the quality was better. The maximum decrease in yield was Ar and Wd, and the production recovery was poor after waterlogging stress. Under waterlogging stress, the MDA accumulation of Jn was minimal and ROS scavenging enzymes activity was the highest. The cell membrane damage degree is minimal, which was conducive to improve the ability to resist waterlogging stress of plant. So the Jn could growth in the southern rainy area of the Huaihe River in our country.

**Keyword:** alfalfa; waterlogging stress; antioxidant enzymesin; yield

紫花苜蓿产量高品质优，生态适应性广，以“牧草之王”著称<sup>[1, 2]</sup>。近年来，草食畜牧业的快速发展使高品质、高产量的牧草需求量不断提高<sup>[3]</sup>。江淮地区光热水资源丰富，牧畜产品需求量大，蕴藏着发展牧草产业的巨大潜力，但该地区降水集中，夏季的高温高湿制约紫花苜蓿的生长发育，不耐湿苜蓿品种难以发挥生产优势。众多研究表明，当植物受到涝渍等不利的环境胁迫时。植物体内的活性氧会大量增多、积累，超过一定限度即会破坏膜脂、核酸等<sup>[4]</sup>，影响植物的正常代谢和生长发育<sup>[5, 6]</sup>。一般情况下，植物体受到胁迫时，自身会有保护反应来阻止活性氧自由基过多带来的毒害作用<sup>[7]</sup>，Blokhina<sup>[8, 9]</sup>等研究表明 SOD、POD、CAT 等活性氧清除酶类对活性氧有清除功能，可减轻植物因逆境胁迫产生的过多活性氧自由基对植物体的伤害。而丙二醛(MDA)是细胞毒性物质，它与细胞膜上的蛋白质、酶等结合、交联并使之失活，最终对植物细胞产生毒害作用<sup>[10]</sup>。因此，其含量的高低可以间接反映植物受逆境伤害的程度<sup>[11, 12]</sup>。目前，关于紫花苜蓿耐涝性的研究较少，且关于受涝后紫花苜蓿的产量恢复情况鲜有报道。本试验以金皇后 (Jh)、阿尔金刚 (Ar)、维多利亚 (Wd)、巨能 551 (J551) 和巨能耐湿 (Jn) 等 5 个紫花苜蓿品种为材料，研究淹水胁迫对苜蓿抗氧化酶和产量的影响，旨在筛选出在淹水胁迫下具有较强适应性的苜蓿品种，为江淮地区乃至广大南方地区耐湿性苜蓿品种的选用和推广提供技术支撑。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

试验于 2013 年 10 月至 2014 年 7 月安徽农业大学校园内进行。土壤为黄褐土，pH 值 6.8,有机质含量 12.36g/kg，全氮含量 0.83 g/kg，速效氮 102.4mg/kg，速效磷 8.6mg/kg，速效钾 94.6mg/kg。

供试材料金皇后 (Jh)、阿尔金刚 (Ar)、维多利亚 (Wd)、巨能 551 (J551) 和巨能耐湿 (Jn) 等 5 个紫花苜蓿品种。

#### 1.2 试验设计

表 1 试验具体设计

Table 1 The specific design of experiment

因素	B1 (品种 1)	B2 (品种 2)	B3 (品种 3)	B4 (品种 4)	B5 (品种 5)
A1 (0 d)	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>5</sub>
A2 (1 d)	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>5</sub>
A3 (2 d)	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>5</sub>
A4 (3d)	A <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>5</sub>
A5 (4 d)	A <sub>5</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>5</sub>
A6 (5 d)	A <sub>6</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>6</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>6</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>6</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>6</sub> B <sub>5</sub>

盆栽试验, 共设 20 个处理、3 个重复、60 个小区。试验依据淹水天数的不同共设 6 个处理(用 A 表示): A1: 0 d (对照); A2: 1 d; A3: 2d; A4: 3d; A5: 4d; A6: 5d; 依据苜蓿品种不同, 设 5 个处理 (用 B 表示), 即 B1: 金皇后; B2: 阿尔金刚; B3: 维多利亚; B4: 巨能 551; B5: 巨能耐湿。小区面积约 0.05m<sup>2</sup>(桶直径 26cm), 于 2013 年 10 月 14 日播于塑料营养钵(试验用盆采用塑料营养钵(塑料桶直径 26cm, 高度为 25cm)中, 播种量为每盆 1g, 播种深度为 0.5cm, 施尿素 45kg/hm<sup>2</sup>。出苗后选取生长较一致的植株间苗至株距 0.8cm。正常生长至 2014 年春季始花期(2014 年?月?日)按处理收割, 记录每种品种的草产量。收割后正常生长, 待夏季梅雨季节(2014 年?月?日)进行淹水处理, 此时期恰逢苜蓿始花期, 苜蓿平均高度为 26±2cm。淹水水面保持在土面以上 4cm 处, 每次处理 3 次重复。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 抗氧化酶活性的测定

称取苜蓿顶叶 1 g 于预冷的研钵中, 加入预冷的磷酸缓冲液(pH7.0)冰浴研磨成浆, 并定容至 10ml, 于 12000rpm 条件下离心 20min, 取上清液, 即为酶粗提液。依据赵海泉<sup>[13]</sup>的方法对 SOD、POD 和 CAT 的活性进行测定。

#### 1.3.2 丙二醛含量的测定

称取苜蓿顶叶 1 g 于预冷的研钵中, 加入少量石英砂和 2ml 10% 三氯乙酸研磨成浆, 加 8 ml 10% 三氯乙酸进一步研磨成匀浆后于 4000 r/min 下离心 10 min, 其上清液, 即为丙二醛提取液。加入 2 ml 0.6% 硫代巴比妥酸溶液摇匀, 将混合液于沸水浴中反应 15 min, 迅速冷却后离心。取上清液分别在 532、600 nm 波长下测定吸光度值。

### 1.4 数据处理

本实验用 Microsoft Excel 2007 软件进行相关数据的计算和作图, 用 DPS 7.5 软件进行方差、显著性检验(LSD 法)和相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 淹水胁迫对不同苜蓿品种酶活性的变化

#### 2.1.1 淹水胁迫对不同苜蓿品种 SOD 活性的影响

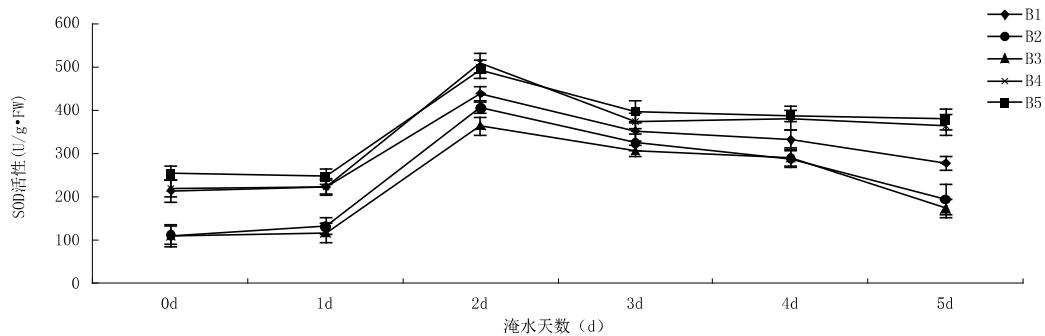


图 1 淹水胁迫对不同苜蓿品种 SOD 活性的影响

Fig 1 Effects of waterlogging stress on SOD acitivity of different alfalfa varieties

由图 1 可见，各苜蓿品种在淹水处理下整体上均呈先升后降的“倒钟形”变化。但不同品种的变化幅度有所差异。刚进入淹水处理时，5 个苜蓿品种的 SOD 活性变化差异显著。淹水 1d 时，金皇后、阿尔金刚和维多利亚的 SOD 活性出现了相对较明显的增加，三者较对照分别增加了 3.72%、18.56% 和 5.90%。巨能 551 变化不显著，较对照仅增加了 1.73%。巨能耐湿的 SOD 活性较对照出现了小幅度的下降。淹水进入 2d 时 5 个苜蓿品种的 SOD 活性均大幅度增加，之后随着胁迫时间的延长出现缓慢下降，但 SOD 活性仍处于较高水平。其中巨能耐湿和巨能 551 在淹水后期 SOD 活性变化最缓慢，金皇后次之，阿尔金刚和维多利亚降低幅度相对较大。胁迫结束时，巨能 551 和巨能耐湿的 SOD 活性较接近，且该条件下二者 SOD 活性最高，较对照分别增加了 66.36% 和 49.22%。此条件下，金皇后 SOD 活性为 278.03U/g FW，对照增加了 29.61%。而阿尔金刚和维多利亚活性最低。

#### 2.1.2 淹水胁迫对不同苜蓿品种 POD 活性的影响

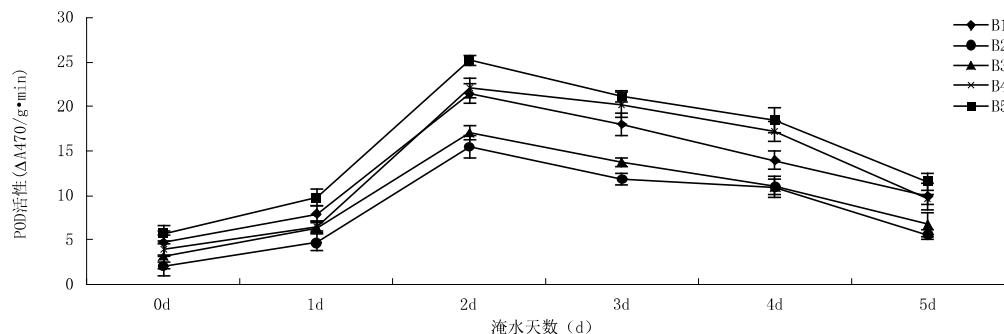


图 2 淹水胁迫对不同苜蓿品种 POD 活性的影响

Fig 2 Effects of waterlogging stress on POD acitivity of different alfalfa varieties

由图 2 可见, 各苜蓿品种在整个胁迫周期内的变化均呈先升后降的趋势。淹水 1d 时各苜蓿品种的 POD 活性变化较小, 处理进入 2d 时 POD 活性出现骤增, 之后缓慢下降, 但整体的 POD 活性仍保持较高水平。但各品种间的变化幅度有所差异。淹水进入 1d 时巨能耐湿 POD 活性达到  $25.21\Delta A470/g \cdot min$ , 增长最明显。巨能 551 和金皇后次之。该处理下阿尔金刚和维多利亚 POD 活性最低, 仅分别为  $15.50\Delta A470/g \cdot min$ 、 $17.06\Delta A470/g \cdot min$ 。淹水 3d 时, 巨能耐湿 POD 活性的降低幅度高于巨能 551, 但均低于其他供试品种。之后巨能 551 降低幅度增加, 开始高于巨能耐湿。胁迫结束时, 二者 POD 活性分别为  $9.63\Delta A470/g \cdot min$ 、 $11.58\Delta A470/g \cdot min$ 。整个胁迫周期内, 阿尔金刚和维多利亚的 POD 活性值较其他品种均最低。胁迫结束时, 二者 POD 活性分别为  $5.61\Delta A470/g \cdot min$ 、 $6.74\Delta A470/g \cdot min$ 。

### 2.1.3 淹水胁迫对不同苜蓿品种 CAT 活性的影响

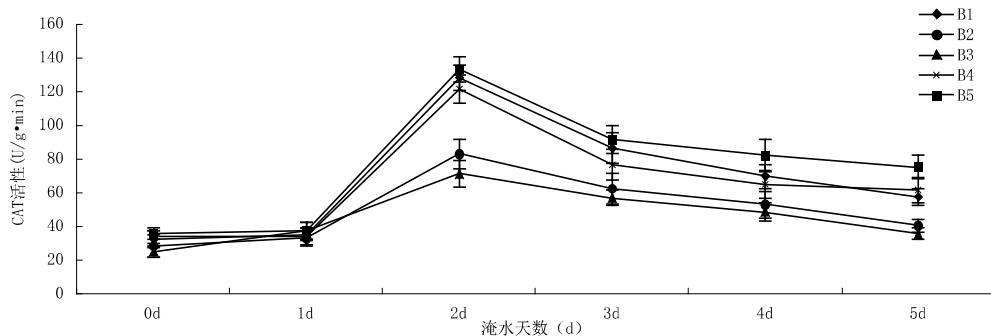


图 3 淹水胁迫对不同苜蓿品种 CAT 活性的影响

Fig 3 Effects of waterlogging stress on CAT acitivity of different alfalfa varieties

由图 3 可见, 在淹水胁迫下各苜蓿品种的 CAT 活性变化与 SOD、POD 活性的变化趋势相同, 均先升后降。且各品种间也存在差异。淹水 1d 时, 各供试品种 CAT 活性变化较小, 淹水 2d 时开始出现明显的增加。胁迫前三天, 金皇后、巨能 551 和巨能耐湿三者的变化幅度较为接近, 且 CAT 活性相对较高, 淹水 2d 时, 三者的 CAT 活性值分别达到  $128.45U/g \cdot min$ 、 $121.25U/g \cdot min$  和  $133.25U/g \cdot min$ 。该条件下的阿尔金刚和维多利亚的 CAT 活性值仅为  $82.75U/g \cdot min$  和  $71.00U/g \cdot min$ 。淹水后期巨能耐湿的 CAT 活性降低幅度明显低于巨能 551 和金皇后, 胁迫结束时, 其 CAT 活性值高于巨能 551 和金皇后, 为  $75.00U/g \cdot min$ 。该条件下巨能 551 和金皇后的 CAT 活性值为  $61.35U/g \cdot min$  和  $57.30U/g \cdot min$ 。阿尔金刚和维多利亚进入淹水 2d 后, CAT 活性值明显低于其他三个供试品种, 其中维多利亚相对更低。胁迫结束时, 二者的 CAT 活性值仅为  $40.10U/g \cdot min$  和  $35.20U/g \cdot min$ 。

### 2.2 淹水胁迫对不同苜蓿品种 MDA 含量的影响

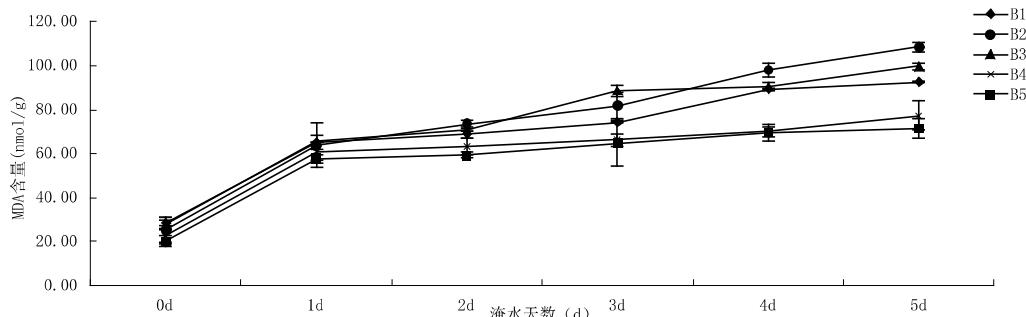


图 4 淹水胁迫对不同苜蓿品种 MDA 含量的影响

Fig 4 Effects of waterlogging stress on MDA content of different alfalfa varieties

由图 4 可见,各苜蓿供试品种 MDA 含量随淹水胁迫的延长而增加。但品种间增加幅度差异明显。处理进入 2d 前,各品种的 MDA 含量值较接近,后期阿尔金刚和维多利亚增加幅度明显提高,MDA 含量值明显高于其他 3 个苜蓿品种。淹水 3d 前维多利亚增加幅度较高,MDA 含量值达到最高。淹水进入 3d 时阿尔金刚增长幅度明显增加,MDA 含量值开始变为最高。之后维多利亚和阿尔金刚 MDA 含量值持续处在最高水平,金皇后和巨能 551 次之,巨能耐湿相对最低。胁迫结束时,阿尔金刚和维多利亚的 MDA 含量值分别达到 108.68nmol/g 和 99.84nmol/g。巨能 551 和巨能耐湿在整个胁迫周期内 MDA 含量值变化相对较平缓,淹水进入 2d 后,二者的 MDA 含量值始终处于最低值。淹水 1d 时,二者的 MDA 含量值分别为 60.47nmol/g 和 57.74nmol/g,胁迫结束时为 77.42nmol/g 和 71.41nmol/g。仅提高了 28.04% 和 23.68%。相同条件下的金皇后和维多利亚分别达到 42.30% 和 52.49%,阿尔金刚更是增加了 70.52%。

### 2.3 淹水胁迫对不同苜蓿品种产量的变化

表 2 淹水胁迫对不同苜蓿品种产量的影响

Table 2 Effects of waterlogging stress on yield of different alfalfa varieties

品种 Variety	产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Alfalfa yield					
	0d	1d	2d	3d	4d	5d
B1	103193.67aA	94562.31aA	92846.61aA	83243.51bB	76658.04aA	73589.82bAB
B2	78506.11cC	74632.96bB	61536.58bB	58597.49cC	48317.43bB	33445.07cC
B3	60205.42dD	72375.74B	59939.95bB	56487.96cC	48557.61bB	37096.23cC
B4	89154.98bB	95044.65aA	91926.52aA	87243.25abAB	77010.52aA	71447.99bB
B5	91396.65bB	98601.37aA	94706.21aA	89633.83aA	80543.65aA	79418.57aA

由表 2 可见,受到淹水胁迫后各苜蓿品种产量的变化有所差异。其中维多利亚、巨能 551 和巨能耐湿在淹水 1d 时产量出现小幅度上升,较对照分别增加了 20.21%、6.60% 和 7.88%。之后随胁迫的延

长产量持续下降。金皇后和阿尔金刚在整个胁迫周期内产量持续下降。金皇后在淹水 1d 时产量下降较明显, 较对照下降了 8.36%, 且与通处理条件下的阿尔金刚和维多利亚产量差异达到极显著。淹水进入 2d 后, 金皇后的下降幅度与巨能 551 和巨能耐湿接近, 胁迫结束时, 三者产量值分别为 73589.82kg、71447.99kg 和 79418.57kg, 较对照分别下降了 28.69%、19.86% 和 13.11%。淹水进入 2d 后, 阿尔金刚和维多利亚产量变化较接近, 与同条件下的其他苜蓿品种差异均达到极显著水平, 胁迫结束时, 二者产量值分别降为 33445.07kg 和 37096.23kg, 较对照分别下降达到 57.40% 和 38.38%。

#### 2.4 淹水胁迫对不同苜蓿品种下季草产的变化

表 3 淹水胁迫对不同苜蓿品种下季产量的影响

Table 3 Effects of waterlogging stress on yield of different alfalfa varieties on next season

品种 Variety	产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Alfalfa yield					
	0d	1d	2d	3d	4d	5d
B1	84573.94aA	81050.85aA	78755.34aA	76268.82aA	74654.82aA	64467.57aA
B2	72506.09cC	63280.96cC	61003.65dC	57130.25dD	55030.68dC	48602.33eD
B3	74274.52bcBC	76996.43bB	68647.05cB	64136.56cC	56490.62dC	51776.56dC
B4	75799.42bB	82049.12aA	69614.99bcB	66092.70cBC	60234.52cB	54334.22cC
B5	75168.43bBC	76219.88bB	71410.70bB	68413.66bB	62570.72bB	57288.68bB

同列中不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ ) ;列中不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P<0.01$ )。

由表 3 可见, 淹水胁迫对各苜蓿品种下季产量的影响整体呈下降趋势。但处理 1d 的苜蓿下季产量中维多利亚、巨能 551 和巨能耐湿出现小幅度上升, 其他 2 个品种持续下降, 但 5 个品种处理 1d 的下季产量变化幅度均较小, 升高和降低均不明显。但该条件下品种间产量差异明显, 其中金皇后和巨能 551 产量达到  $81050.85\text{kg}/\text{hm}^2$  和  $82049.12\text{kg}/\text{hm}^2$ , 二者与其他 3 个苜蓿品种差异均达到极显著水平。之后随处理时间的延长, 各供试苜蓿品种的下季产量均持续下降。胁迫周期内, 除淹水 1d 外, 金皇后的下季产量均为最高值, 且与其他各品种相同处理下的差异均达到极显著水平。胁迫 5d 的金皇后下季产量为  $64467.57\text{kg}/\text{hm}^2$ , 较对照降低了 23.77%。淹水 2d 后的巨能耐湿和巨能 551 下季产量值仅次于金皇后, 且胁迫 5d 的二者下季产量分别为  $57288.68\text{kg}/\text{hm}^2$  和  $54334.22\text{kg}/\text{hm}^2$ , 较对照分别降低了 23.79% 和 28.32%。阿尔金刚和维多利亚下季产量值整体处最低水平。阿尔金刚整个水分胁迫周期对下季产量的影响均较明显, 下季产量的下降幅度最大, 胁迫 5d 下季产量为  $48602.33\text{kg}/\text{hm}^2$ , 较对照降低达到 32.97%。该处理下维多利亚下季产量为  $51776.56\text{kg}/\text{hm}^2$ , 较对照降低了 30.29%。

### 3 讨论

植物受到外界逆境胁迫后, 活性氧会大量增加<sup>[14]</sup>, MDA 是植物细胞膜脂过氧化的产物之一, 是检测植物细胞膜受损伤程度的重要指标<sup>[15]</sup>。而 SOD、POD 和 CAT 对活性氧有清除作用, 可减轻植物

## 第六届中国苜蓿发展大会

---

逆境带来的损伤。冯昌军等<sup>[16]</sup>对苜蓿品种幼苗的逆境胁迫研究表明，随胁迫时间的延长，供试苜蓿品种叶片 SOD、POD 活性呈先升后降的趋势，但后期的酶活仍处较高水平。即较高水平的相关酶活可减轻外界逆境胁迫对植株的伤害。任佰朝<sup>[17]</sup>研究发现，淹水胁迫后夏玉米 SOD、POD 和 CAT 活性的降低，护酶系统的破坏可能是叶绿素降低的原因。MDA 含量的持续增加加剧了细胞的毒害作用，加快的叶绿素的降解和衰老。本实验研究表明，随淹水时间的延长，各苜蓿品种叶片的 MDA 含量持续增加，说明胁迫对植株产生了一定程度的毒害。而 SOD、POD 和 CAT 活性表现为先升后降的趋势，但后期活性仍处于较高水平，这可能由于此类酶的耐涝机制已形成，较高水平的保护酶能促使活性氧代谢平衡，减轻植物因胁迫带来的毒害。这与冯昌军<sup>[16]</sup>等对苜蓿低温胁迫的研究结果相符合。各品种比较显示巨能 551 和巨能耐湿的 SOD 活性下降幅度最小，金皇后次之，阿尔金刚和维多利亚下降幅度最大。POD 和 CAT 活性下降幅度表现为巨能耐湿>巨能 551>金皇后>阿尔金刚>维多利亚。MDA 含量的增加幅度表现为维多利亚>阿尔金刚>金皇后>巨能 551>巨能耐湿。即维多利亚和阿尔金刚对胁迫最敏感，细胞膜脂受损害程度增大，金皇后和巨能 551 次之，巨能耐湿相对受害最轻。各苜蓿品种产量比较显示阿尔金刚和维多利亚在整个胁迫周期内产量下降幅度最大，金黄后次之，巨能 551 和巨能耐湿产量下降幅度最小，与前面的酶活变化研究相一致。此外，前人对淹水胁迫后植株后季产量变化的研究极少。本实验研究表明，各苜蓿品种下季产量因上季受到淹水胁迫，仍呈下降趋势。但品种比较显示，金皇后和巨能耐湿的下降幅度最小，巨能 551 次之，阿尔金刚和维多利亚的下降幅度仍较大。说明胁迫对金皇后和巨能耐湿下季产量影响最小，二者的恢复能力最好。而阿尔金刚和维多利亚受淹水胁迫伤害较严重，恢复最缓慢，耐涝能力最差。可见，巨能耐湿在整个周期内受胁迫伤害最小，MDA 的积累最小，而活性氧清除酶最多，细胞膜受伤程度最小产量更高。且其下季产量的恢复情况仅次于金黄后，产量值较高，对淹水胁迫的耐受能力和恢复能力均最强。巨能 551 和金皇后次之，阿尔金刚和维多利亚最低。因此，苜蓿新品种巨能耐湿具有较强耐涝特性，可作为江淮地区乃至南方多雨地区推广种植的苜蓿品种。

参考文献（略）