

9个紫花苜蓿品种对淹水胁迫的响应及耐涝性评价

陈小芳¹, 徐化凌^{1*}, 王瑞香², 李军³, 崔慧慧⁴, 毕云霞¹, 宁凯¹, 于德花¹

(1. 东营市农业科学研究院, 山东 东营 257091; 2. 利津县自然资源和规划局, 山东 东营 257400; 3. 东营市农业综合服务中心, 山东 东营 257091; 4. 利津县农业综合服务中心, 山东 东营 257400)

摘要:【目的】筛选淹水胁迫下适应性相对较强的紫花苜蓿(*Medicago sativa*)品种, 为紫花苜蓿耐涝性研究提供基础材料。【方法】采用套盆法模拟淹水条件, 探究淹水对紫花苜蓿苗期生物学特性的影响。【结果】淹水7 d时, 紫花苜蓿株高均高于对照, 巨能7耐湿、角斗士、巨能801、WL440HQ、WL525HQ和WL656HQ品种的茎干重、叶干重和地上干生物量都高于对照, 巨能995、角斗士、巨能801、WL525HQ、WL656HQ、WL712的主根长高于对照。淹水胁迫至第14 d时, 仅有2~3个品种主根长、茎干重、叶干重和地上干生物量等指标高于对照。【结论】采用主成分分析法和隶属函数法进行耐涝性综合评价, 巨能995、WL440HQ、角斗士等品种耐涝能力较高。

关键词: 淹水胁迫; 紫花苜蓿; 耐涝性评价

中图分类号: S541 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)02-0155-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2024.02.016



紫花苜蓿营养价值高, 适口性好, 是草食家畜的优良牧草, 被称为“牧草之王”^[1-2]。近年来, 黄河三角洲地区畜牧业发展迅速, 草畜结合不紧密、优质豆科牧草供应不足等问题制约产业发展。黄河三角洲地区土壤盐碱化、贫瘠, 地下水位偏高, 雨热同季, 有时受台风侵袭, 雨水骤增, 常会出现短暂或较长时间的受涝现象, 影响紫花苜蓿正常生长发育, 甚至造成减产、品质下降^[3], 严重制约了紫花苜蓿的规模化种植。

前人对紫花苜蓿的研究主要集中在萌发特性、形态分类、耐旱性、耐盐碱性、生产性能及田间栽培管理技术等方面^[4-9], 对于降水量较大地区, 不同淹水时间和程度对作物群体指标和品质的影响研究较少。目

前, 尤其缺乏对适宜黄河三角洲地区雨热同季、短期降水量大, 易形成内涝情况下种植的紫花苜蓿新品种的研究, 对受涝后的植株生长速率、株高、形态指标和根长等群体质量指标和品质的系统性的影响, 研究更少。本试验以巨能995、巨能7耐湿、中苜3号等9个紫花苜蓿品种为材料, 研究淹水胁迫对植株幼苗的影响, 旨在筛选出在淹水胁迫下具有较强抗性的苜蓿品种, 为黄河三角洲地区耐涝性苜蓿品种的选育提供技术支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为9个紫花苜蓿品种(表1), 2021年10月播种于上口径23 cm, 底径14 cm, 高32 cm的花盆。栽培基质按营养土与细沙体积比1:2的比例混匀, 每盆基质重量相等, 每盆播种50粒, 播深1~2 cm。待种子发芽苗齐后间苗, 每盆保留长势基本一致的幼苗20株。生长期放置温室, 进行统一的常规浇水和维护管理。温室内温度为17~25℃, 相对湿度为60%~80%, 自然光照和光周期。2022年2月20日刈割, 正常生长至3月1日进行试验处理。

收稿日期: 2023-03-06; 修回日期: 2023-04-13

基金项目: 山东省牧草产业技术体系东营综合试验站; 山东省牛产业技术体系东营综合试验站; 山东省重点研发计划良种工程“耐盐优质新型牧草突破性新品种选育”项目

作者简介: 陈小芳(1980-), 女, 甘肃兰州人, 副研究员, 博士, 研究方向为牧草栽培与抗性生理。

E-mail: chen_xf1980@163.com

*通信作者。E-mail: yszw2007@sina.com

表1 苜蓿种质名录及来源
Table 1 List of alfalfa germplasms and origins

编号	品种	来源
1	巨能995	克劳沃(北京)生态科技有限公司
2	巨能7耐湿	克劳沃(北京)生态科技有限公司
3	角斗士	克劳沃(北京)生态科技有限公司
4	巨能801	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所
5	WL440HQ	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所
6	WL525HQ	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所
7	WL656HQ	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所
8	WL712	克劳沃(北京)生态科技有限公司
9	中苜3号	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所

1.2 试验设计

试验在东营市农业科学研究院温室内进行,采用套盆法,将花盆放置于底部无孔的塑料大花盆内,水面保持在土壤表面以上3 cm左右。设置淹水7 d和14 d两个处理,每个处理分别设置对照。每个淹水处理和对照均进行3次重复。淹水处理7 d和14 d后立即取样并测定相关指标。

1.3 测量指标与方法

1.3.1 株高、生长速率 随机于各处理中选定5株,在处理开始和结束时分别测定株高,计算生长速率。

1.3.2 根长 随机选取5株苜蓿,在处理结束时测定其主根长度。

1.3.3 SPAD值 各处理中随机选定5株苜蓿,选取倒4叶,用便携式叶绿素计(SPAD-502Plus)在叶片的5个部位测定,取平均值。

1.3.4 产草量 将根、茎和叶分开,测定鲜重,然后置于烘箱中105℃杀青30min后80℃烘干至恒重,冷却至室温后称重,计算地上生物量和茎叶比。

地上生物量=茎干重+叶干重

茎叶比(%)=(茎干重/叶干重)×100%

1.4 评价方法及数据处理

数据整理采用Excel2016,统计分析用DPS 7.05进行。采用主成分分析法和隶属函数法对9个紫花苜蓿品种耐涝性进行综合评价,公式如下:

耐涝系数: $X = \text{淹水处理测定值} / \text{对照测定值}$

综合指标值: $Z_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i X_i$

式中: α_i 为单一指标的特征值对应的特征向量; X_i 为耐涝系数。

隶属函数值: $\mu_{(Z_i)} = \frac{(Z_i - Z_{imin})}{(Z_{imax} - Z_{imin})}$ ($i = 1, 2, 3 \dots n$)

式中: Z_i 为第*i*个综合指标, Z_{imin} 为第*i*个综合指标的最小值, Z_{imax} 为第*i*个综合指标的最大值。

权重: $W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i$

式中: $i = 1, 2, \dots, n$, W_i 表示第*i*个综合指标在所有综合指标中的权重; P_i 表示第*i*个综合指标的贡献率。

综合评价值: $D = \sum_{i=1}^n (\mu_{(Z_i)} \times W_i)$

式中: $\mu_{(Z_i)}$ 为第*i*个综合指标的隶属函数值, W_i 表示第*i*个综合指标的权重。

2 结果与分析

2.1 淹水胁迫对不同紫花苜蓿品种株高和生长速率的影响

在整个淹水胁迫过程中,紫花苜蓿所有品种株高均高于对照(表2)。淹水7 d时巨能7耐湿品株高增长最多,较对照提高了12.59%,其次为角斗士,较对照提高了8.4%。第14天时角斗士株高增长最多,较对照提高了9.44%。

不同苜蓿品种淹水胁迫下生长速率表现不同(表3),淹水胁迫处理7 d时,巨能7耐湿、巨能995、角斗士和WL656HQ较对照分别提高了111.11%,71.43%,29.41%和18.18%。淹水胁迫处理14 d时,WL525HQ、巨能801、巨能7耐湿和WL712较对照分别降低了66.67%,11.11%,8.33%和22.22%。

2.2 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗主根长和地下干生物量的影响

淹水胁迫至第7天时,淹水处理下巨能995、角斗士、巨能801、WL525HQ、WL656HQ、WL712的主根长高于对照处理(表4)。胁迫至第14天时,淹水处理下只有巨能7耐湿、WL525HQ的主根长高于对照处理,其他品种主根长均低于对照。

淹水胁迫至第7天时,仅有WL440HQ的地下干生物量高于对照处理,其他品种均低于对照,其中WL712降低幅度最大,达32%。淹水至第14天时,只有巨能995的地下干生物量高于对照处理,其他品种均低于对照,其中中苜3号降低幅度最大,达48.72%(表5)。

表 2 淹水胁迫对不同苜蓿品种株高的影响

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

cm

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能 995	21.10±0.97 ^a	21.95±0.85 ^{ab}	20.05±0.13 ^a	21.59±0.53 ^a
巨能 7 耐湿	20.97±0.47 ^a	23.61±0.56 ^a	20.53±1.38 ^a	22.01±1.38 ^{ab}
角斗士	18.21±0.05 ^b	19.74±0.08 ^{bc}	16.53±0.24 ^{cd}	18.09±0.70 ^{de}
巨能 801	16.67±1.12 ^b	18.01±1.04 ^c	15.85±0.50 ^d	16.99±0.49 ^c
WL440HQ	18.18±0.48 ^b	19.37±0.34 ^c	18.07±0.45 ^{bc}	19.69±0.49 ^{bcd}
WL525HQ	17.81±0.39 ^b	18.69±0.53 ^c	19.27±0.23 ^{ab}	19.98±0.31 ^{bcd}
WL656HQ	17.78±0.68 ^b	18.72±0.63 ^c	19.21±0.21 ^{ab}	20.05±0.46 ^{bc}
WL712	18.25±0.83 ^b	19.02±1.17 ^c	17.98±0.66 ^{bc}	19.02±0.64 ^{cd}
中苜 3 号	18.42±1.32 ^b	19.26±1.15 ^c	17.61±0.30 ^{bcd}	19.03±0.19 ^{cd}
均值	18.60	19.82	18.34	19.60
F 值	3.10 [*]	4.76 ^{**}	6.75 ^{**}	6.01 ^{**}

注:同列不同小写字母表示不同水分处理差异显著($P<0.05$);**表示极显著相关性($P<0.01$),*表示显著相关性($P<0.05$),下同。

表 3 淹水胁迫对不同苜蓿品种生长速率的影响

Table 3 Effects of waterlogging stress on growth rate of different alfalfa varieties

%

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能 995	0.07±0.02	0.12±0.02 ^b	0.07±0.02 ^b	0.11±0.04 ^{ab}
巨能 7 耐湿	0.18±0.01	0.38±0.10 ^a	0.12±0.03 ^{ab}	0.11±0.01 ^{ab}
角斗士	0.17±0.05	0.22±0.02 ^b	0.08±0.02 ^{ab}	0.11±0.04 ^{ab}
巨能 801	0.20±0.04	0.19±0.02 ^b	0.09±0.01 ^{ab}	0.08±0.02 ^{ab}
WL440HQ	0.17±0.01	0.17±0.02 ^b	0.10±0.00 ^{ab}	0.12±0.01 ^a
WL525HQ	0.13±0.09	0.13±0.02 ^b	0.15±0.03 ^a	0.05±0.02 ^b
WL656HQ	0.11±0.05	0.13±0.02 ^b	0.05±0.03 ^b	0.06±0.02 ^{ab}
WL712	0.10±0.05	0.11±0.05 ^b	0.09±0.06 ^{ab}	0.07±0.00 ^{ab}
中苜 3 号	0.19±0.03	0.12±0.04 ^b	0.07±0.00 ^b	0.10±0.01 ^{ab}
均值	0.15	0.17	0.09	0.09
F 值	0.991	3.91 ^{**}	1.425	1.281

表 4 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗主根长的影响

Table 4 Effects of waterlogging stress on root length of different alfalfa varieties

cm

品种	处理 7 d		处理 14 d	
	对照	淹水	对照	淹水
巨能 995	13.61±0.80	14.17±0.75 ^{abc}	12.95±1.08 ^{ab}	11.99±0.53 ^d
巨能 7 耐湿	19.25±1.80 ^a	16.21±0.76 ^{ab}	15.75±1.46 ^{ab}	17.90±0.94 ^a
角斗士	16.48±0.88 ^{ab}	17.60±0.87 ^a	14.63±0.58 ^{ab}	12.84±0.56 ^{cd}
巨能 801	16.13±1.74 ^{ab}	17.77±1.19 ^a	17.52±2.62 ^a	15.98±0.61 ^{ab}
WL440HQ	14.83±1.77 ^{abc}	14.53±1.81 ^{abc}	18.39±3.08 ^a	14.67±0.65 ^{bc}
WL525HQ	10.27±1.02 ^c	11.18±0.81 ^c	11.00±0.20 ^b	13.35±0.63 ^{cd}
WL656HQ	10.85±0.75 ^c	12.32±0.80 ^c	13.58±1.08 ^{ab}	13.15±0.82 ^{cd}
WL712	13.16±1.28 ^{bc}	13.45±1.07 ^{bc}	13.01±0.11 ^{ab}	12.13±0.52 ^d
中苜 3 号	17.74±2.43 ^{ab}	17.34±1.01 ^a	15.62±2.81 ^{ab}	12.31±1.58 ^{cd}
均值	14.70	14.95	14.72	13.81
F 值	3.87 [*]	3.97 ^{**}	1.66	5.91 ^{**}

表5 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗地下干生物量的影响

Table 5 Effects of waterlogging stress on the root dry weight of different alfalfa varieties

g

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能 995	0.40±0.08 ^c	0.29±0.05 ^{cd}	0.35±0.11 ^d	0.38±0.03 ^{bc}
巨能 7耐湿	0.92±0.18 ^{ab}	0.64±0.19 ^{ab}	1.08±0.33 ^{ab}	0.68±0.18 ^a
角斗士	0.73±0.07 ^b	0.63±0.09 ^{ab}	0.85±0.15 ^{bc}	0.51±0.04 ^{ab}
巨能 801	1.10±0.11 ^a	0.84±0.15 ^a	1.34±0.19 ^a	0.79±0.17 ^a
WL440HQ	0.40±0.05 ^c	0.54±0.02 ^{bc}	0.86±0.20 ^{bc}	0.58±0.09 ^{ab}
WL525HQ	0.16±0.01 ^c	0.16±0.02 ^d	0.29±0.07 ^d	0.21±0.01 ^c
WL656HQ	0.17±0.04 ^c	0.15±0.02 ^d	0.23±0.02 ^d	0.15±0.04 ^c
WL712	0.25±0.03 ^c	0.17±0.02 ^d	0.20±0.05 ^d	0.13±0.03 ^c
中苜 3号	0.38±0.02 ^c	0.27±0.09 ^{cd}	0.39±0.10 ^{cd}	0.20±0.01 ^c
均值	0.50	0.41	0.62	0.40
F值	15.599**	8.085**	7.015**	7.19**

2.3 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗茎干重、叶干重、地上干生物量的影响

淹水胁迫第7天时,巨能995、WL712和中苜3号

的茎干重低于对照,其余品种的茎干重均高于对照;淹水第14天时,角斗士和WL440HQ茎干重高于对照,其余品种的茎干重均低于对照(表6)。

表6 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗茎干重的影响

Table 6 Effects of waterlogging stress on the stem dry weight of different alfalfa varieties

g

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能 995	0.33±0.07 ^{bcd}	0.29±0.05 ^{bcd}	0.25±0.04 ^c	0.44±0.04 ^b
巨能 7耐湿	0.42±0.10 ^{ab}	0.52±0.16 ^{ab}	0.58±0.13 ^{ab}	0.47±0.02 ^b
角斗士	0.36±0.03 ^{bc}	0.41±0.05 ^{bc}	0.40±0.06 ^{bc}	0.48±0.04 ^b
巨能 801	0.55±0.03 ^a	0.66±0.17 ^a	0.70±0.15 ^a	0.57±0.04 ^{ab}
WL440HQ	0.29±0.02 ^{cde}	0.37±0.03 ^{bcd}	0.54±0.16 ^{ab}	0.67±0.11 ^a
WL525HQ	0.15±0.00 ^f	0.19±0.01 ^{cd}	0.21±0.04 ^c	0.21±0.01 ^c
WL656HQ	0.16±0.03 ^{ef}	0.19±0.03 ^{cd}	0.275±0.01 ^c	0.21±0.04 ^c
WL712	0.21±0.02 ^{def}	0.14±0.01 ^d	0.19±0.04 ^c	0.13±0.02 ^c
中苜 3号	0.22±0.01 ^{def}	0.20±0.07 ^{cd}	0.27±0.05 ^c	0.21±0.03 ^c
均值	0.30	0.33	0.38	0.38
F值	8.868**	4.489**	4.594**	14.431**

淹水处理7天时,巨能995和WL712的叶干重低于对照组,其他7个紫花苜蓿品种的叶干重均高于对照;第14天时,巨能995和WL440HQ的叶干重略高于对照,其他7个紫花苜蓿的叶干重均低于对照,其中WL712的降低幅度最大,达54.55%(表7)。由此可见,淹水胁迫下,不同紫花苜蓿品种、不同淹水时长叶干重的表现不同。

淹水胁迫第7天时,除巨能995、WL712和中苜3号的地上生物量低于对照外,其他淹水处理的地上干生物量均高于对照,表现出一定的促进作用,其中WL440HQ的增加幅度最大,达29.69%(表8)。第14

天时,除巨能995、角斗士和WL440HQ地上生物量高于对照外,其他淹水处理的地上干生物量较对照整体均呈降低的趋势,其中WL712的降低幅度最大,达42.50%。紫花苜蓿巨能995的茎干重、叶干重、地上干生物量随淹水时间的增长均表现为先降低后增加(表6~8)。

2.4 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗根冠比的影响

淹水胁迫7d时(表9),WL440HQ和WL712的根冠比略高于对照,其余品种均低于对照,其中巨能7耐湿的降低幅度最大,达42.27%。淹水胁迫14d时,WL656HQ和WL712的根冠比略高于对照,其余品种

表 7 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗叶干重的影响

Table 7 Effects of waterlogging stress on the leaf dry weight of different alfalfa varieties

g

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能 995	0.30±0.04 ^{cd}	0.20±0.05 ^{cd}	0.21±0.01 ^e	0.27±0.03 ^e
巨能 7 耐湿	0.59±0.19 ^a	0.65±0.21 ^{ab}	0.65±0.20 ^{abc}	0.47±0.08 ^b
角斗士	0.54±0.02 ^{ab}	0.56±0.08 ^b	0.60±0.08 ^{bcd}	0.57±0.04 ^b
巨能 801	0.74±0.04 ^a	0.86±0.17 ^a	0.94±0.17 ^a	0.71±0.04 ^a
WL440HQ	0.35±0.00 ^{bc}	0.46±0.07 ^{bc}	0.69±0.20 ^{ab}	0.71±0.06 ^a
WL525HQ	0.15±0.02 ^d	0.18±0.03 ^{cd}	0.29±0.05 ^{de}	0.18±0.02 ^{cd}
WL656HQ	0.14±0.04 ^d	0.16±0.04 ^{cd}	0.35±0.01 ^{cde}	0.17±0.04 ^{cd}
WL712	0.20±0.04 ^{cd}	0.12±0.01 ^d	0.22±0.07 ^e	0.10±0.01 ^d
中苜 3 号	0.24±0.01 ^{cd}	0.25±0.03 ^{cd}	0.28±0.03 ^{de}	0.17±0.03 ^{cd}
均值	0.36	0.38	0.47	0.37
F 值	9.893 ^{**}	6.978 ^{**}	5.301 ^{**}	30.387 ^{**}

表 8 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗地上干生物量的影响

Table 8 Effects of waterlogging stress on the aboveground dry biomass

g

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能 995	0.63±0.10 ^{cde}	0.49±0.10 ^{cde}	0.45±0.05 ^{cd}	0.72±0.06 ^d
巨能 7 耐湿	1.01±0.29 ^{ab}	1.17±0.38 ^{ab}	1.24±0.33 ^{ab}	0.95±0.10 ^{cd}
角斗士	0.90±0.01 ^{bc}	0.97±0.13 ^{bc}	1.00±0.14 ^{bc}	1.04±0.08 ^{bc}
巨能 801	1.29±0.07 ^a	1.53±0.33 ^a	1.64±0.32 ^a	1.28±0.08 ^{ab}
WL440HQ	0.64±0.02 ^{cd}	0.83±0.10 ^{bcd}	1.22±0.36 ^{ab}	1.38±0.17 ^a
WL525HQ	0.29±0.02 ^f	0.37±0.02 ^{de}	0.50±0.10 ^{cd}	0.39±0.03 ^e
WL656HQ	0.30±0.06 ^{ef}	0.35±0.07 ^{de}	0.60±0.02 ^{cd}	0.38±0.08 ^e
WL712	0.41±0.06 ^{def}	0.27±0.03 ^e	0.40±0.12 ^d	0.23±0.03 ^e
中苜 3 号	0.46±0.01 ^{def}	0.45±0.10 ^{cde}	0.54±0.08 ^{cd}	0.38±0.06 ^e
均值	0.66	0.71	0.84	0.75
F 值	9.961 ^{**}	5.877 ^{**}	5.008 ^{**}	23.452 ^{**}

表 9 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗根冠比的影响

Table 9 Effects of waterlogging stress on the root/shoot ratio of different alfalfa varieties

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能 995	0.64±0.05 ^{bc}	0.61±0.03 ^{ab}	0.74±0.15 ^{ab}	0.54±0.05 ^{ab}
巨能 7 耐湿	0.97±0.11 ^a	0.56±0.02 ^{ab}	0.84±0.06 ^a	0.71±0.12 ^a
角斗士	0.81±0.07 ^{ab}	0.65±0.04 ^a	0.85±0.06 ^a	0.49±0.03 ^b
巨能 801	0.86±0.09 ^a	0.56±0.04 ^{ab}	0.83±0.04 ^a	0.61±0.10 ^{ab}
WL440HQ	0.63±0.09 ^c	0.66±0.06 ^a	0.74±0.07 ^{ab}	0.42±0.01 ^b
WL525HQ	0.56±0.05 ^c	0.45±0.08 ^b	0.57±0.06 ^{bcd}	0.55±0.03 ^{ab}
WL656HQ	0.58±0.04 ^c	0.45±0.09 ^b	0.39±0.04 ^d	0.40±0.02 ^b
WL712	0.63±0.04 ^c	0.65±0.04 ^a	0.51±0.02 ^{cd}	0.55±0.06 ^{ab}
中苜 3 号	0.83±0.06 ^a	0.57±0.07 ^{ab}	0.69±0.08 ^{abc}	0.54±0.09 ^{ab}
均值	0.72	0.57	0.69	0.53
F 值	6.01 ^{**}	1.821	4.716 ^{**}	1.768

均低于对照,其中WL440HQ的降低幅度最大,达43.24%。整个淹水胁迫过程中,除WL712缓慢增加外,紫花苜蓿根冠比整体呈现降低的趋势。

2.5 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗茎叶比的影响

整个淹水胁迫过程中,除中苜3号在淹水7 d时茎

叶比较对照降低外,其他品种均较对照有所增加,且随着淹水胁迫时间延长,对茎叶比的促进作用增强(表10)。淹水胁迫7 d时,巨能995的茎叶比较对照增幅最大,达37.97%;淹水处理至第14天时,WL656HQ茎叶比较对照增幅最大,达84.55%。

表10 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗茎叶比的影响

Table 10 Effects of waterlogging stress on the stem/leaf ratio of different alfalfa varieties

%

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能995	112.14±12.95 ^{ab}	154.72±16.47 ^a	119.53±8.12 ^a	162.28±2.18 ^a
巨能7耐湿	76.13±7.40 ^d	83.28±4.77 ^{bc}	99.34±17.41 ^{ab}	104.74±14.46 ^{bcde}
角斗士	67.56±8.04 ^d	73.02±1.24 ^c	66.68±0.69 ^d	83.87±2.43 ^{de}
巨能801	74.50±0.58 ^d	74.79±5.83 ^c	74.22±3.10 ^{cd}	80.95±3.36 ^e
WL440HQ	81.26±4.72 ^{cd}	82.67±10.74 ^{bc}	76.49±3.96 ^{bcd}	93.21±8.70 ^{cde}
WL525HQ	103.27±12.28 ^{abc}	111.69±25.29 ^{bc}	72.25±1.44 ^{cd}	119.07±9.81 ^{bcd}
WL656HQ	120.15±14.13 ^a	121.00±10.87 ^{ab}	70.96±3.04 ^{cd}	130.96±13.92 ^{abc}
WL712	105.70±11.47 ^{abc}	116.73±1.07 ^{ab}	90.06±9.36 ^{bcd}	138.92±16.74 ^{ab}
中苜3号	91.93±7.98 ^{bcd}	74.28±17.48 ^c	93.74±5.45 ^{bc}	136.25±21.91 ^{ab}
均值	92.52	99.13	84.80	116.69
F值	4.494 ^{**}	4.531 ^{**}	4.768 ^{**}	4.846 ^{**}

2.6 淹水胁迫对不同紫花苜蓿品种相对叶绿素含量(SPAD值)的影响

苜蓿受淹水胁迫后,叶片中的叶绿素相对含量整体呈下降趋势(表11),且随淹水时间延长下降幅度增大。淹水7 d时,苜蓿叶绿素相对含量较对照下降幅

度为0.91%~17.78%,淹水14 d时,下降幅度为8.51%~31.67%。角斗士淹水7 d和14 d时,叶绿素相对含量较对照下降幅度均最小,分别为0.91%和8.51%。

表11 淹水胁迫对紫花苜蓿幼苗相对叶绿素含量的影响

Table 11 Effects of waterlogging stress on SPAD of different alfalfa varieties

SPAD值

品种	水分处理 7 d		水分处理 14 d	
	对照	渍水	对照	渍水
巨能995	44.23±0.63 ^b	42.43±2.20 ^c	43.83±1.27 ^d	39.72±1.51 ^{bc}
巨能7耐湿	49.45±0.59 ^b	49.47±1.53 ^{ab}	49.46±2.38 ^{abc}	41.49±1.19 ^{abc}
角斗士	51.64±2.29 ^{ab}	51.17±0.52 ^a	51.10±0.27 ^{ab}	46.75±1.56 ^a
巨能801	62.78±11.30 ^a	51.62±1.44 ^a	52.73±1.20 ^a	47.02±1.88 ^a
WL440HQ	50.13±2.39 ^b	50.66±1.45 ^a	51.84±1.23 ^a	43.77±0.44 ^{ab}
WL525HQ	46.07±2.87 ^b	51.45±1.54 ^a	44.75±0.91 ^d	40.46±0.85 ^{bc}
WL656HQ	50.27±1.33 ^b	49.55±1.99 ^{ab}	52.60±1.21 ^a	35.94±1.68 ^{cd}
WL712	48.94±0.88 ^b	45.87±0.93 ^{bc}	45.95±1.31 ^{cd}	41.13±3.33 ^{abc}
中苜3号	48.24±0.66 ^b	45.07±0.39 ^{bc}	47.70±0.98 ^{bcd}	33.10±3.94 ^d
均值	50.20	48.59	48.89	41.04
F值	1.59	4.61 ^{**}	6.53 ^{**}	5.18 ^{**}

2.7 淹水胁迫对不同品种紫花苜蓿的耐涝性综合评价

2.7.1 主成分分析 对9个紫花苜蓿品种的耐涝系数进行主成分分析(表12),共提取3个主成分(PC),

PC1~PC3的特征值分别为3.275、2.455和0.919,贡献率分别为40.933%、30.684%和11.488%,累积贡献率为83.105%。

2.7.2 隶属函数分析 在淹水胁迫条件下,对于同

表 12 淹水处理下不同品种紫花苜蓿主成分分析
Table 12 Principal component analysis of different alfalfa varieties under waterlogging stress

指标	PC1	PC2	PC3
主根长	-0.179	0.413	-0.289
株高	0.402	-0.344	-0.028
地下干生物量	0.243	0.515	0.225
茎干重	0.456	0.331	-0.009
叶干重	0.524	0.027	-0.258
叶绿素	0.151	0.483	-0.091
根冠比	-0.404	0.307	0.407
生长速率	0.281	-0.097	0.791
特征值	3.275	2.455	0.919
贡献率%	40.933	30.684	11.488
累计贡献率%	40.933	71.617	83.105

一个综合指标 PC1, WL712 的隶属函数值最小, 为 0, 表明 WL712 在 PC1 表现为耐涝最差, 而巨能 995 的隶

属函数值最大, 为 1, 表明巨能 995 在 PC1 表现为耐涝最强(表 13); 对于 PC2, 中苜 3 号的隶属函数值最小, 为 0, 表明中苜 3 号在 PC2 表现为耐涝最差, 而 WL525HQ 的隶属函数值最大, 为 1, 表明 WL525HQ 在 PC2 表现为耐涝最强。对于 PC3, WL525HQ 的隶属函数值最小, 为 0, 表明 WL525HQ 在 PC2 表现为耐涝最差, 而巨能 995 的隶属函数值最大, 为 1, 表明巨能 995 在 PC2 表现为耐涝最强。

2.7.3 权重确定 3 个综合指标的权重分别为 0.493、0.369 和 0.138(表 12)。

2.7.4 综合评价 根据 D 值(表 13)对紫花苜蓿的耐涝性进行排序。其中 WL712 的 D 值最小, 表明其耐涝性最差, 巨能 995 的 D 值最大, 表明其耐涝性最强。耐涝性强弱排序, 依次为巨能 995 > WL440HQ > 角斗士 > WL525HQ > 巨能 7 耐湿 > WL656HQ > 巨能 801 > 中苜 3 号 > WL712。

表 13 淹水处理下不同品种紫花苜蓿隶属函数分析

Table 13 Analysis of membership functions of different alfalfa varieties under waterlogging stress

品种	Z1	Z2	Z3	$\mu_{(z1)}$	$\mu_{(z2)}$	$\mu_{(z3)}$	D 值	排序
巨能 995	1.794	1.493	1.194	1	0.709	1	0.893	1
巨能 7 耐湿	1.657	1.223	1.052	0.828	0.149	0.831	0.578	5
角斗士	1.741	1.353	0.859	0.934	0.418	0.599	0.697	3
巨能 801	1.462	1.276	0.511	0.581	0.259	0.183	0.407	7
WL440HQ	1.766	1.480	0.669	0.965	0.683	0.373	0.779	2
WL525HQ	1.338	1.632	0.358	0.425	1	0	0.579	4
WL656HQ	1.328	1.340	0.907	0.412	0.392	0.657	0.439	6
WL712	1.002	1.304	0.818	0	0.317	0.551	0.193	9
中苜 3 号	1.300	1.152	0.543	0.377	0	0.222	0.216	8
权重				0.493	0.369	0.138		

3 讨论

3.1 淹水胁迫对紫花苜蓿生物学特性的影响

在江河漫滩、沼泽、湿地等生态环境中, 淹水胁迫是植物生长过程中遭受的主要非生物胁迫之一^[10], 植物形态和生理特征都会因淹水而表现出多种变化。李丹竹等^[11]进行了淹水胁迫下 30 个紫花苜蓿品种苗期根系形态的研究, 根系生长均受到抑制, 总根长、根系体积和表面积以及根尖数呈下降趋势。全瑞兰^[12]在田间对渝苜 1 号进行淹水处理, 随淹水时间的延长, 叶片萎蔫、枯黄, 根系腐烂, 成活率和生长速度下降,

30 d 结束淹水后, 形成较多侧根的渝苜 1 号逐渐恢复生长。张卫红等^[13]对不同秋眠等级紫花苜蓿水淹处理下苗期生物学特性进行观测, 在表土水淹处理下整体上表现出对紫花苜蓿生长具有促进作用, 随着淹水胁迫时间的增加, 叶片边缘逐渐发黄, 生长速率降低, 生长发育受到明显的抑制。淹水胁迫不同处理时间下, 紫花苜蓿的响应存在差异性。

在本试验中, 淹水 7 d 时, 紫花苜蓿株高均高于对照, 巨能 7 耐湿、角斗士、巨能 801、WL440HQ、WL525HQ 和 WL656HQ 品种的茎干重、叶干重和地上干生物量都高于对照, 巨能 995、角斗士、巨能 801、

WL525HQ、WL656HQ、WL712的主根长高于对照处理。淹水胁迫至第14天时,大部分品种较对照降低幅度较大,其中WL712叶干重和地上干生物量降低幅度最大,分别达42.50%和48.72%。从而表明,短时间淹水对紫花苜蓿生长具有促进作用,其原因可能是适度的淹水刺激,植株通过调整自身根、茎、叶形态变化来对抗这种不利因素。随着水淹胁迫时间的增加,其对植物生长发育的抑制作用逐渐增强。

淹水处理对紫花苜蓿叶片SPAD值也有很大影响。陆日惠等^[14]对淹水胁迫下福建山樱花幼苗的响应及抗涝机制研究中发现,SPAD值在淹水3d时出现略微上升,可能是胁迫初期植株启动了应激反应机制,这种现象在王冰清等^[15]对桐花树幼苗胁迫响应的研究中也出现过。在本试验中,淹水胁迫后紫花苜蓿品种SPAD值总体呈下降趋势,与董慧^[16]、Huang等^[17]在湿害胁迫下,处理组叶绿素明显降低的试验结果相一致。淹水胁迫造成植物组织与土壤间的气体交换减少,地下根部区域形成缺氧环境,根系生长发育受到抑制,不能为地上部有效供应物质,使得植株功能叶片生长受阻,进而影响叶绿素的形成,使得叶片SPAD值下降,光合能力降低,最终导致植物死亡^[18-19]。

3.2 紫花苜蓿苗期耐涝性综合评价

研究表明,运用单一指标对植物耐涝性进行判定较片面且不完整^[20],运用主成分分析将若干个单项指标进行降维处理得到相应综合指标,再利用隶属函数法结合综合指标计算植物的抗性得分来判定植物的耐涝性是一种有效的评价方法^[21]。本研究采用主成分分析对9个紫花苜蓿品种的7个单项指标进行降维处理,转化为3个独立的综合指标,对综合指标值及相应的隶属函数值进行加权,得到综合评价值D值,按照D值大小进行各品种的耐涝性排序。对较多品种进行耐涝能力评价时,可选取主要指标进行大体判断,缩小筛选范围,然后对目标品种进行多指标综合评价,准确判定耐涝性强弱并进行排序。

4 结论

本研究采用套盆法模拟淹水条件,淹水胁迫下紫花苜蓿幼苗地下部分与地上部分生长均受到影响,各品种在耐涝性能方面存在着差异,其中巨能995、

WL440HQ、角斗士等品种耐涝能力较高。

参考文献:

- [1] 全瑞兰,于翰超,刘昌良,等. 紫花苜蓿品种间耐湿性的比较研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2012,34(4): 14-19.
- [2] 戚志强,王永雄,胡跃高,等. 当前我国苜蓿产业发展的形势与任务[J]. 草业学报,2008,17(1):107-113.
- [3] 曹刚,董慧,车钊等. 淹水胁迫对不同紫花苜蓿品种产量和品质的影响[J]. 草地学报,2017,25(1):135-141.
- [4] 南思睿,罗永忠,于思敏,等. 水分胁迫对紫花苜蓿叶片水势及生物量分配的影响[J]. 草原与草坪,2022,42(6): 63-70.
- [5] 李硕,苗丽宏,聂中南,等. 干旱胁迫对不同紫花苜蓿品种生产性能的影响[J]. 草原与草坪,2020,40(3):15-22.
- [6] 王月,于若男,马雪松,等. 乙烯对盐胁迫下紫花苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),2021,52(1):59-69.
- [7] 张立全,贾旭慧,赵静玮. PEG模拟干旱胁迫对紫花苜蓿种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 分子植物育种,2020,18(11):3759-3764.
- [8] 韩志顺,郑敏娜,梁秀芝,等. 干旱胁迫对不同紫花苜蓿品种形态特征和生理特性的影响[J]. 中国草地学报,2020,42(3):37-43.
- [9] 刘军,齐广平,康燕霞,等. 不同灌溉处理下紫花苜蓿光合特性、叶绿素荧光参数及生物量的变化[J]. 草地学报,2019,27(6):1569-1576.
- [10] 谭淑端,朱明勇,张克荣,等. 植物对水淹胁迫的响应与适应[J]. 生态学杂志,2009,28(9):1871-1877.
- [11] 李丹竹,曾宁波,张志飞,等. 渍水胁迫对不同磷水平下紫花苜蓿根系生长的影响[J]. 草地学报,2020,28(6): 1563-1571.
- [12] 全瑞兰. 紫花苜蓿对淹水胁迫的生理响应研究[D]. 重庆:西南大学,2012.
- [13] 张卫红,吴亚,刘大林,等. 水淹对不同秋眠级紫花苜蓿苗期生物学特性的影响[J]. 草学,2019,2:17-23.
- [14] 陆日惠,徐力兴,周晓星,等. 淹水胁迫对福建山樱花幼苗生长和光合特性的影响[J]. 江西农业大学学报,2022,44(4):871-881.
- [15] 王冰清,丁岳炼,谭家得,等. 淡水淹水胁迫对桐花树幼苗生长及生理特征的影响[J]. 热带农业科学,2021,41(3):23-29.
- [16] 董慧. 淹水胁迫对不同苜蓿品种生长及生理生化变化的影响[D]. 合肥:安徽农业大学,2015.

- [17] Huang Bingru, Johnson J W. Root respiration and carbohydrate status of two wheat genotypes in response to hypoxia[J]. *Annals of Botany*, 1995, 75(4): 427–432.
- [18] CARVALHO L C, AMANCIO S. Antioxidant defence system in plantlets transferred from in vitro to ex vitro: effects of increasing light intensity and CO₂ concentration [J]. *Plant Science*, 2002, 162(1): 33–40.
- [19] Chen L Z, Wang W Q, Lin P. Photosynthetic and physiological responses on *Kandelia candel* L. Druce seedlings to duration of tidal immersion in artificial seawater[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 54 (3) : 256–266.
- [20] 朱向涛, 金松恒, 袁建国, 等. 牡丹不同品种耐涝性综合评价[J]. *核农学报*, 2017, 31(3): 607–613.
- [21] 任保兰, 耿建建, 吕亚等. 辣木幼苗对淹水胁迫的生理响应及耐涝性综合评价[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(3): 789–796.

Effects of flooding stress on biological characteristics of different alfalfa varieties and evaluation of their waterlogging tolerance

CHEN Xiao-fang¹, XU Hua-ling^{1*}, WANG Rui-xiang², LI Jun³, CUI Hui-hui⁴,

BI Yun-xia¹, NING Kai¹, YU De-hua¹

(1. Academy of Dongying Agricultural Sciences, Dongying 257091, China; 2. Lijin County Natural Resources and Planning Bureau, Dongying 257400, China; 3. Dongying Agricultural Comprehensive Service Center, Dongying 257091, China; 4. Lijin County Agricultural Comprehensive Service Center, Dongying 257400, China)

Abstract: [Objective] In order to determine the relatively strong adaptability of alfalfa (*Medicago sativa*) varieties under flooding stress. [Method] The pot covering method was used to simulate the flooding conditions and explore the impact on the biological characteristics of alfalfa seedlings, in order to provide basic materials for the study of alfalfa waterlogging tolerance. [Result] The results showed that the plant height of alfalfa was higher than that of control after 7 days of flooding. The stem dry weight, leaf dry weight and aboveground dry biomass of Juneng 7, gladiator, Juneng 801, WL440HQ, WL525HQ and WL656HQ were higher than those of control. The main root length of Juneng 995, gladiator, Juneng 801, WL525HQ, WL656HQ and WL712 were higher than that of control. At the 14th day of flooding stress, only 2-3 varieties had higher main root length, stem dry weight, leaf dry weight and aboveground dry biomass than the control. [Conclusion] The comprehensive evaluation of waterlogging tolerance was carried out by principal component analysis and subordinate function method. The waterlogging tolerance of Juneng 995, WL440HQ, gladiator and other varieties was higher.

Key words: flooding stress; alfalfa; waterlogging evaluation

(责任编辑 刘建荣)