

基于 SPAD 值和光合特性评价 10 个饲用燕麦品种耐热能力

张淑娟¹, 张玉霞¹, 丛百明², 田永雷³, 张庆昕¹, 杜晓艳¹, 王鑫¹

(1. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028041; 2. 通辽市农牧科学研究所, 内蒙古 通辽 028000; 3. 内蒙古自治区农牧科学院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:【目的】在北方沙化地区选育高产高效饲用燕麦品种提。【方法】在科尔沁沙地种植 10 个饲用燕麦品种, 在孕穗期进行覆膜高温处理, 以未处理为对照, 测定叶片的荧光参数和叶绿素 SPAD 值。【结果】高温胁迫下的各饲用燕麦品种 SPAD 值、可变荧光值和潜在光化学效率低于对照; 利用隶属函数分析不同饲用燕麦品种抗高温能力, 从大到小排序为莫妮卡>骏马>科纳>贝勒>甜燕 1 号>燕王>梦龙>牧王>牧乐思>枪手。【结论】莫妮卡、骏马和科纳为适合科尔沁沙地种植的耐高温品种。

关键词: 高温胁迫; 饲用燕麦; 叶绿素; 荧光参数

中图分类号: S512.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)02-0167-10

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2023.02.020



燕麦 (*Avena sativa*) 是禾本科燕麦属一年生草本植物, 是一种优质的粮、饲兼用作物, 在我国北方广泛种植^[1]。燕麦草鲜嫩多汁、适口性好、消化率高, 既可以调制青干草, 也可以青贮, 在整个畜牧业发展中具有重要地位^[2]。科尔沁沙地夏季常出现 35℃ 以上持续高温, 此时正是饲用燕麦孕穗期, 高温导致饲用燕麦叶片水分大量流失, 叶片发黄等现象, 影响其光合作用, 严重制约该地区饲用燕麦的产量和品质。

随着全球气温的不断增高, 作物受高温的影响致使产量下降, 进一步影响农牧业的发展^[3]。覆盖薄膜模拟高温胁迫环境筛选耐热品种的方法在农业上应用广泛^[5-7]。叶绿素是植物进行光合作用的主要色

素, 对高温很敏感^[8]。叶绿素荧光参数被认为是反映植物抗性强弱的指标, 已经在玉米、金荞麦和冬小麦等多种作物^[9-11]中进行了研究。有学者研究发现叶绿素含量高的作物并不代表耐热能力强, 但一些耐热性强的小麦品种则显示了较高的叶绿素含量^[12-13]。在不同地区生长的植物, 均有其光合作用的最适温度范围。周围环境温度升高时植物的光合速率会随之降低, 生理代谢过程受限, 严重时会造成植物死亡^[14]。

对科尔沁沙地种植的饲用燕麦在高温胁迫下叶片的 SPAD 值及荧光参数研究相对较少, 本试验采用覆膜模拟高温处理, 通过模糊隶属函数法^[15-16]筛选抗高温能力强的饲用燕麦品种, 对保障饲用燕麦高产稳产具有重要意义, 并可为耐热品种选育及其耐热机理研究提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

内蒙古通辽市农业科学院科技园区, 位于 N 42° 38', E 121° 03', 年平均气温 6.4℃, 极端高温 43.9℃。无霜期 145 d, 年平均降水量 400 mm。土壤为风沙土, 有机质含量 50.2 g/kg, 速效磷含量 9.88 mg/kg, 速效钾含量 87.86 mg/kg, 碱解氮含量 12.07 mg/kg。

收稿日期: 2021-03-22; 修回日期: 2021-04-07

基金项目: 内蒙古民族大学科学研究项目 (NMDYB18034); 内蒙古自治区科技储备项目 (2018MDCB03); 内蒙古自治区“双一流”建设一带一路作物学项目 (NMDGJ0018)

作者简介: 张淑娟 (1979-), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士, 主要从事植物抗性生理方向研究。

E-mail: 254153360@qq.com;

*通信作者。E-mail: yuxiazhang@163.com

1.2 供试材料

北京正道生态科技有限公司提供的甜燕1号、贝勒、牧乐思、燕王和科纳,北京百斯特草业有限公司提供梦龙、骏马、枪手、牧王、莫妮卡。

1.3 试验设计

于2018年4月1日进行播种,条播行距20 cm,灌溉方式为漫灌。施纯磷180 kg/hm²、纯钾200 kg/hm²、纯氮180 kg/hm²,磷钾肥料分别选用过磷酸钙(P₂O₅≥40%)和氯化钾(K₂O≥60%),并以种肥形式一次性施入,氮肥选用尿素(N≥46.4%),氮肥施用时期为分蘖期、拔节期、抽穗期、灌浆期,分别占施用量的15%、40%、25%、20%。采用裂区试验设计(主区为温度控制,副区为饲用燕麦品种),温度设高温处理和常温处理(田间自然生长,对照),副区内各因素随机排列,选择牧马人、骏马、甜燕1号、燕王、牧王、贝勒、梦龙、枪手、莫妮卡、牧乐思10个燕麦品种,每个处理设3次重复,小区面积2 m×2 m,每小区10行,共60个小区,间隔1 m,四周设保护行。

孕穗期进行高温和常温处理,孕穗的初期搭建塑料大棚,大棚体积为棚体长×宽×高=20 m×6 m×2 m,塑料薄膜的厚度70 μm,透光率92.7%。在每个小区冠层上方悬挂3个温度计,每天9:00~16:00调查记录小区温度,大棚内日平均温度高于外界温度1.8~

4.0℃。高温处理期间均无降水。

1.4 测定指标及方法

相对叶绿素含量和荧光参数分别在高温处理5 d(6月5日)、10 d(6月10日)、15 d(6月15日)时晴朗无风的上午(10:00~12:00)测定。选取每小区生长一致且受光方向相同的旗叶、倒二叶和倒三叶5片测定叶绿素含量,使用FMS2便携式调制荧光仪(英国Hansatech公司)荧光仪测定叶绿素荧光参数,以SPAD值表示相对叶绿素含量。

1.5 数据分析

模糊隶属函数值计算参照田晓霞方法^[17],用Excel 2007进行作图,用SPSS17.0数据处理系统进行数据统计并作单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 品种和高温胁迫及二者交互作用对饲用燕麦光化学特性的影响

饲用燕麦品种、高温胁迫及品种×高温胁迫对饲用燕麦旗叶SPAD值、可变荧光值和光化学效率影响极显著($P<0.01$)。饲用燕麦倒二叶和倒三叶的SPAD值对品种和高温胁迫响应极显著($P<0.01$),对二者交互作用响应不明显。可见饲用燕麦品种和高温胁迫与燕麦叶片光化学特性存在密切联系(表1)。

表1 品种和高温及二者交互作用对饲用燕麦光化学特性的影响

Table 1 Effects of variety, high temperature and their interaction on photochemical characteristics of forage oat

	品种			高温胁迫			品种×高温胁迫		
	df	F	sig	df	F	sig	df	F	sig
旗叶	9	11.116**	0.000	3	14.657**	0.000	27	2.815**	0.000
倒二叶	9	11.368**	0.000	3	13.177**	0.000	27	1.585	0.059
倒三叶	9	4.865**	0.000	3	9.499**	0.000	27	1.539	0.072
可变荧光值	9	147.34**	0.000	3	9228.854**	0.000	27	45.521**	0.000
光化学效率	9	3.572**	0.001	3	76.828**	0.000	27	3.164**	0.000

注:df表示自由度;F表示统计量;sig表示显著水平,0.05>sig>0.01表示存在显著性影响,用*上标表示;sig<0.01表示存在极显著影响,用**上标表示

2.2 高温处理下饲用燕麦品种SPAD值的比较

由图1分析可知,常温处理下,甜燕1号旗叶SPAD值显著高于梦龙、骏马、燕王、莫妮卡等饲用燕麦品种($P<0.05$),高温5 d处理下,甜燕1号旗叶SPAD值显著高于牧王($P<0.05$),其他饲用燕麦品种间无显著性差异。高温10 d处理下,牧王旗叶SPAD值显著低于贝勒、骏马和莫妮卡等饲用燕麦品

种($P<0.05$),与牧乐思间无显著性差异。高温15 d处理下,牧乐思和牧王旗叶SPAD值显著低于莫妮卡和科纳品种($P<0.05$)。

由图2分析可知,常温处理下,甜燕1号和贝勒倒二叶SPAD值显著高于其他饲用燕麦品种($P<0.05$);高温5 d处理下,甜燕1号、贝勒和莫妮卡倒二叶SPAD值显著高于牧王($P<0.05$);高温10 d处理

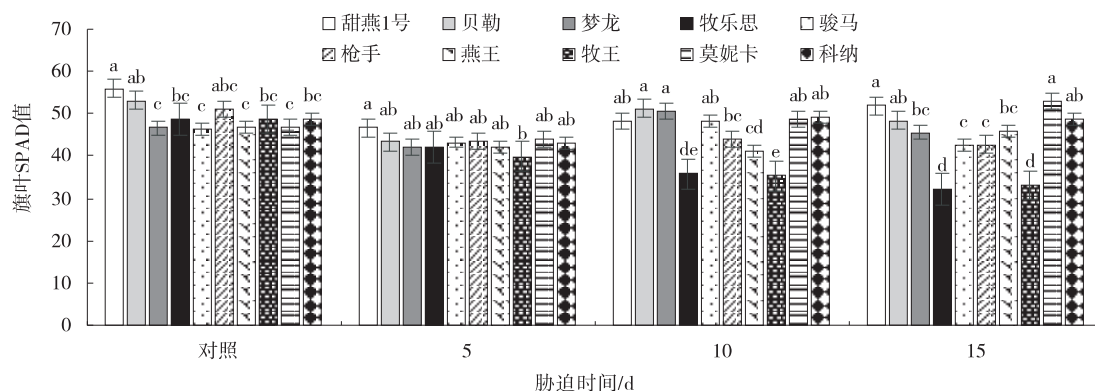


图 1 高温处理下饲用燕麦品种旗叶 SPAD 值

Fig. 1 Comparison of SPAD values of flag leaves of forage oat varieties under high temperature treatment

下, 梦龙和枪手倒二叶 SPAD 值显著低于甜燕 1 号、贝勒和科纳, 牧乐思倒二叶 SPAD 值显著低于骏马品种 ($P < 0.05$); 高温 15 d 处理下, 牧乐思、枪手和牧王倒

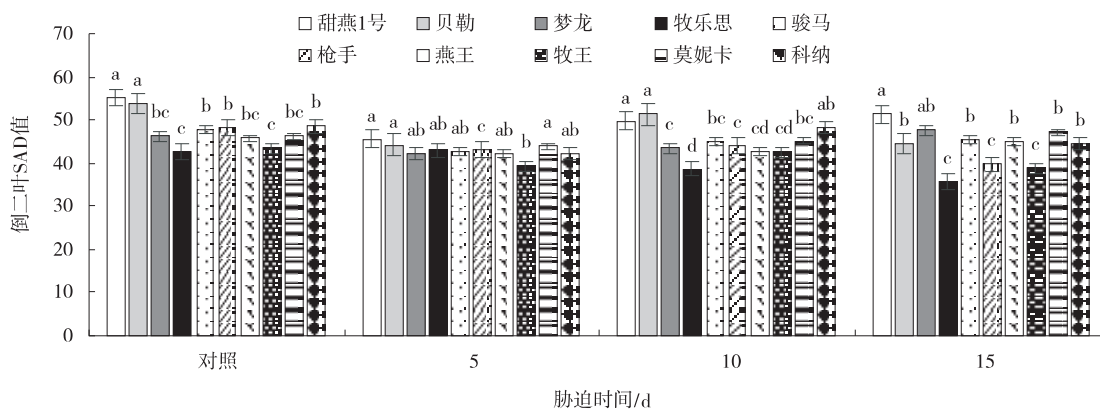


图 2 高温处理下饲用燕麦品种倒二叶 SPAD 值

Fig. 2 Comparison of SPAD value of feed oats with two leaves in high temperature treatment

由图 3 分析可知, 常温处理下, 甜燕 1 号、贝勒、枪手和牧王倒三叶 SPAD 值显著高于其他饲用燕麦品种 ($P < 0.05$); 高温 5 d 处理下, 牧王倒三叶 SPAD 值显著高于梦龙、牧乐思、骏马、燕王、莫妮卡和科纳 ($P < 0.05$); 高温 10 d 处理下, 甜燕 1 号和贝勒倒三叶 SPAD 值显著高于牧乐思和枪手 ($P < 0.05$); 高温 15 d 处理下, 枪手倒三叶 SPAD 值显著低于甜燕 1 号和莫妮卡 ($P < 0.05$)。

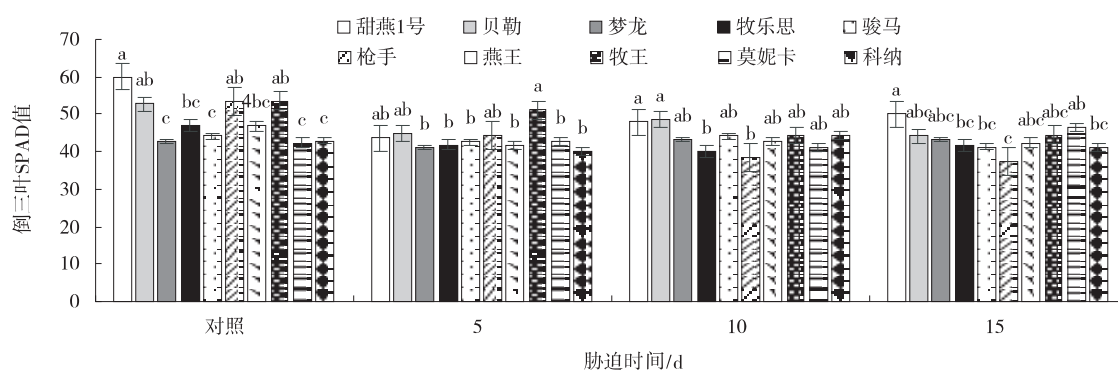


图 3 高温处理下饲用燕麦品种倒三叶 SPAD 值

Fig. 3 Comparison of SPAD values of three leaves of oat under high temperature treatment

对于高温胁迫下 10 个饲用燕麦品种旗叶、倒二叶和倒三叶的 SPAD 值综合分析表明甜燕 1 号、贝勒、莫妮卡和科纳在高温胁迫下叶片 SPAD 值处于较高水平, 牧乐思、枪手和牧王在高温胁迫下叶片 SPAD 值

较低。说明高温胁迫下甜燕1号、贝勒、莫妮卡和科纳 SPAD 值较牧乐思、枪手和牧王 SPAD 值能够保持较高水平。

2.3 高温处理下饲用燕麦品种光合特性的比较

由图4分析可知,常温处理下,甜燕1号和牧乐思

叶片可变荧光值显著高于其他饲用燕麦品种 ($P < 0.05$);高温 5 d 和 10 d 处理下,牧乐思可变荧光值显著高于其他饲用燕麦品种 ($P < 0.05$);高温 15 d 处理下,牧王、燕王、梦龙、科纳和枪手叶片可变荧光值显著低于其他饲用燕麦品种 ($P < 0.05$)。

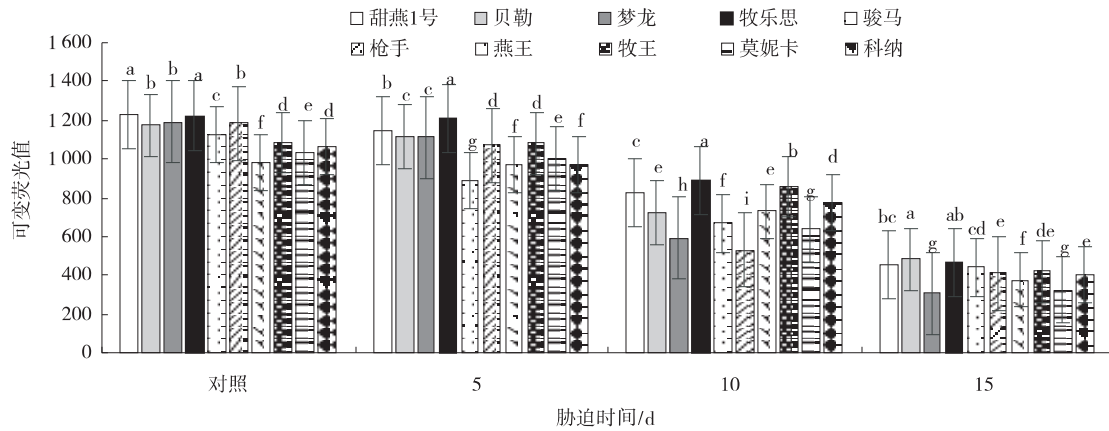


图4 高温处理下饲用燕麦品种可变荧光值

Fig. 4 Comparison of variable fluorescence values of forage oats under high temperature treatment

由图5分析可知,常温、高温 5 d 和 15 d 处理下 10 个饲用燕麦品种间叶片光化学效率无显著性差异;高

温 10 d 处理下,枪手和牧王叶片光化学效率显著低于其他饲用燕麦品种 ($P < 0.05$)。

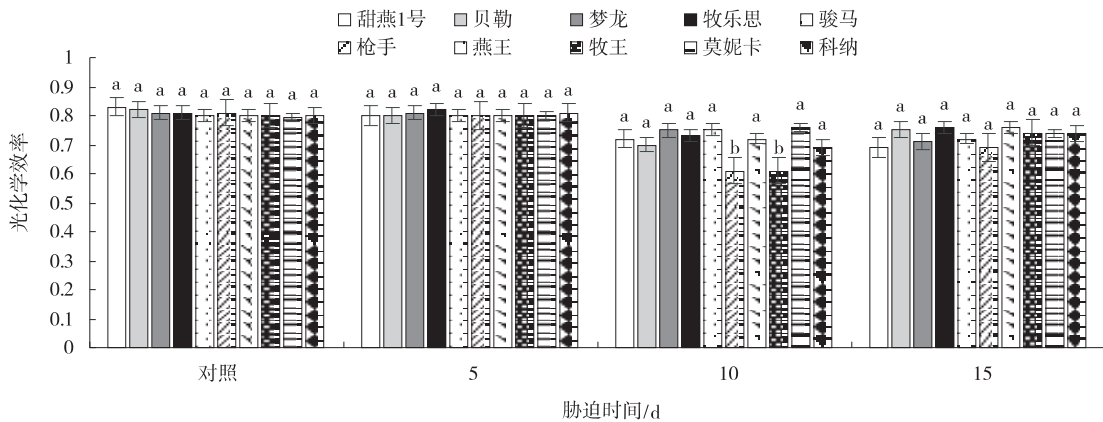


图5 高温处理下饲用燕麦品种光化学效率

Fig. 5 Comparison of photochemical efficiency of forage oat varieties under high temperature treatment

对于高温胁迫下饲用燕麦叶片光化学特性综合分析表明牧乐思在高温胁迫下可保持较高水平的可变荧光值和光化学效率,牧王和枪手表现出较低的可变荧光值和光化学效率。说明高温胁迫下牧乐思叶片光化学特性强于牧王和枪手。

2.4 饲用燕麦品种在高温胁迫下 SPAD 值线性分析

由图6线性分析可知,梦龙、莫妮卡和科纳饲用燕麦旗叶 SPAD 值在高温胁迫下呈上升趋势,其他饲用燕麦品种旗叶 SPAD 值均在高温胁迫下呈下降趋势;图7线性分析表明梦龙和莫妮卡饲用燕麦旗叶 SPAD 值在高温胁迫下呈上升趋势,其他饲用燕麦品种旗叶

SPAD 值均在高温胁迫下呈下降趋势;图8线性分析可知,梦龙、莫妮卡和科纳饲用燕麦旗叶 SPAD 值在高温胁迫下呈上升趋势,其他饲用燕麦品种旗叶 SPAD 值均在高温胁迫下呈下降趋势。

2.5 饲用燕麦品种在高温胁迫下荧光参数线性分析

由图9和图10线性分析表明,各饲用燕麦品种可变荧光值和光化学效率随着高温胁迫时间的延长呈下降趋势,各饲用燕麦品种可变荧光值均在高温 10 d 处理时显著下降,光化学效率基本呈直线下降。说明受高温胁迫 10 d 时各饲用燕麦品种可变荧光值突然下降受到阻碍,而光化学效率受高温胁迫影响严重。

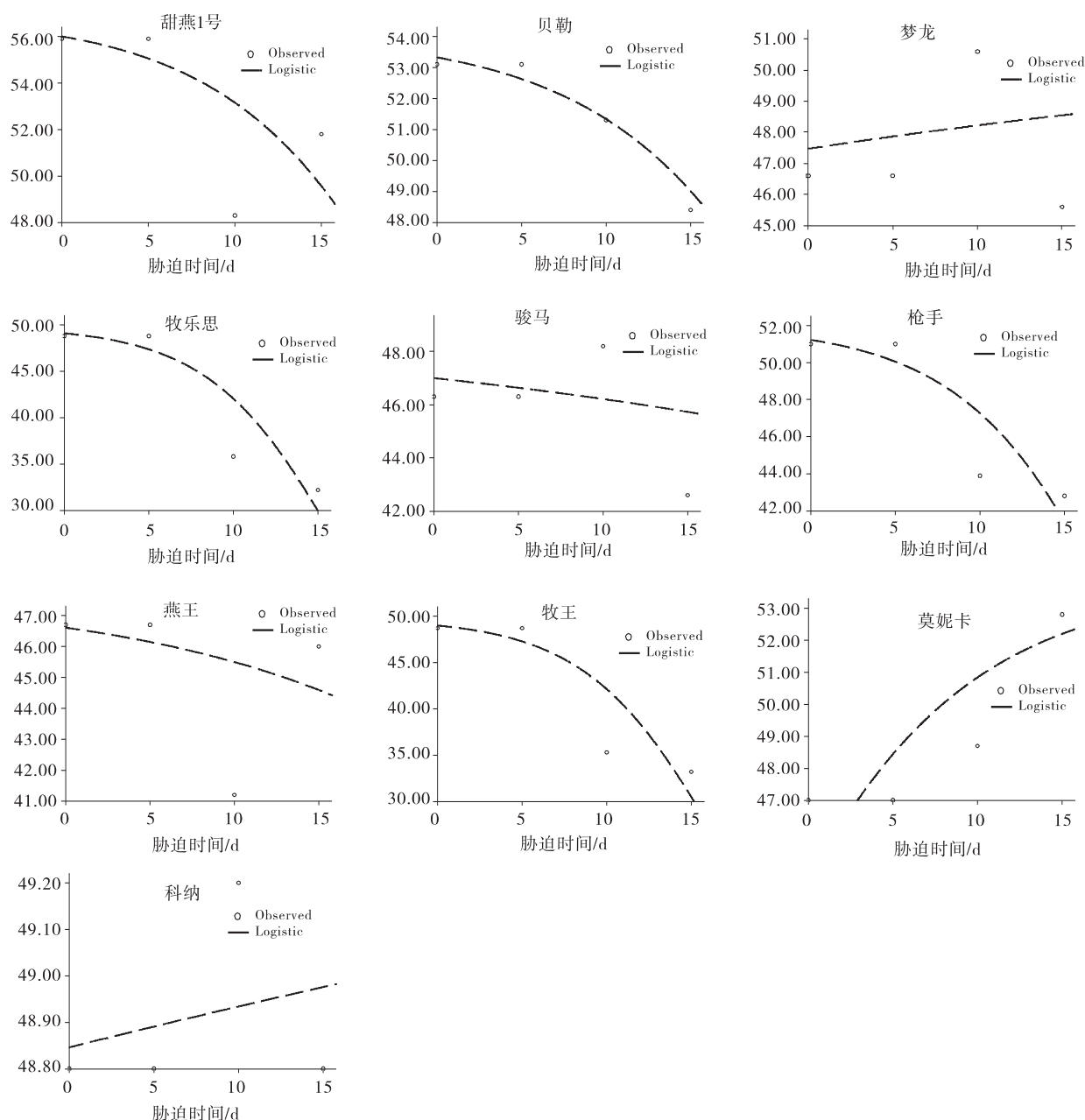


图6 高温处理下各饲用燕麦品种旗叶SPAD值线性分析

Fig. 6 linear analysis of SPAD value of flag leaves of forage oats under high temperature treatment

2.6 饲用燕麦抗高温排序及相关性分析

由表2隶属函数分析可知,高温胁迫处理下,各饲用燕麦抗高温能力由大到小排序为莫妮卡>骏马>科纳>贝勒>甜燕1号>燕王>梦龙>牧王>牧乐思>枪手。

3 讨论

叶片通过光合作用为植物生物量的积累提供物质基础,而叶绿素含量与叶片的光合能力及其生长发育有着密切的联系^[18]。研究表明叶片叶绿素含量与测定的SPAD值呈极显著相关,因此,可以通过SPAD

仪来测量叶绿素含量^[19]。高温胁迫导致水稻叶片叶绿素含量和光合速率显著下降,且抗高温能力不同的品种间存在明显的差异^[20]。赵海明^[21]、陈秀萍等^[22]研究均表明随着胁迫处理时间的延长,植物叶片受伤害情况加剧,SPAD值持续下降。而本研究结果表明牧乐思、枪手和牧王饲用燕麦品种旗叶、倒二叶和倒三叶SPAD值随着高温胁迫程度的加深呈下降趋势,其他品种旗叶、倒二叶和倒三叶SPAD值在高温胁迫下有上升趋势。综上说明牧乐思、枪手和牧王的抗高温能力较弱。甜燕1号、贝勒、莫妮卡和科纳在高温胁迫

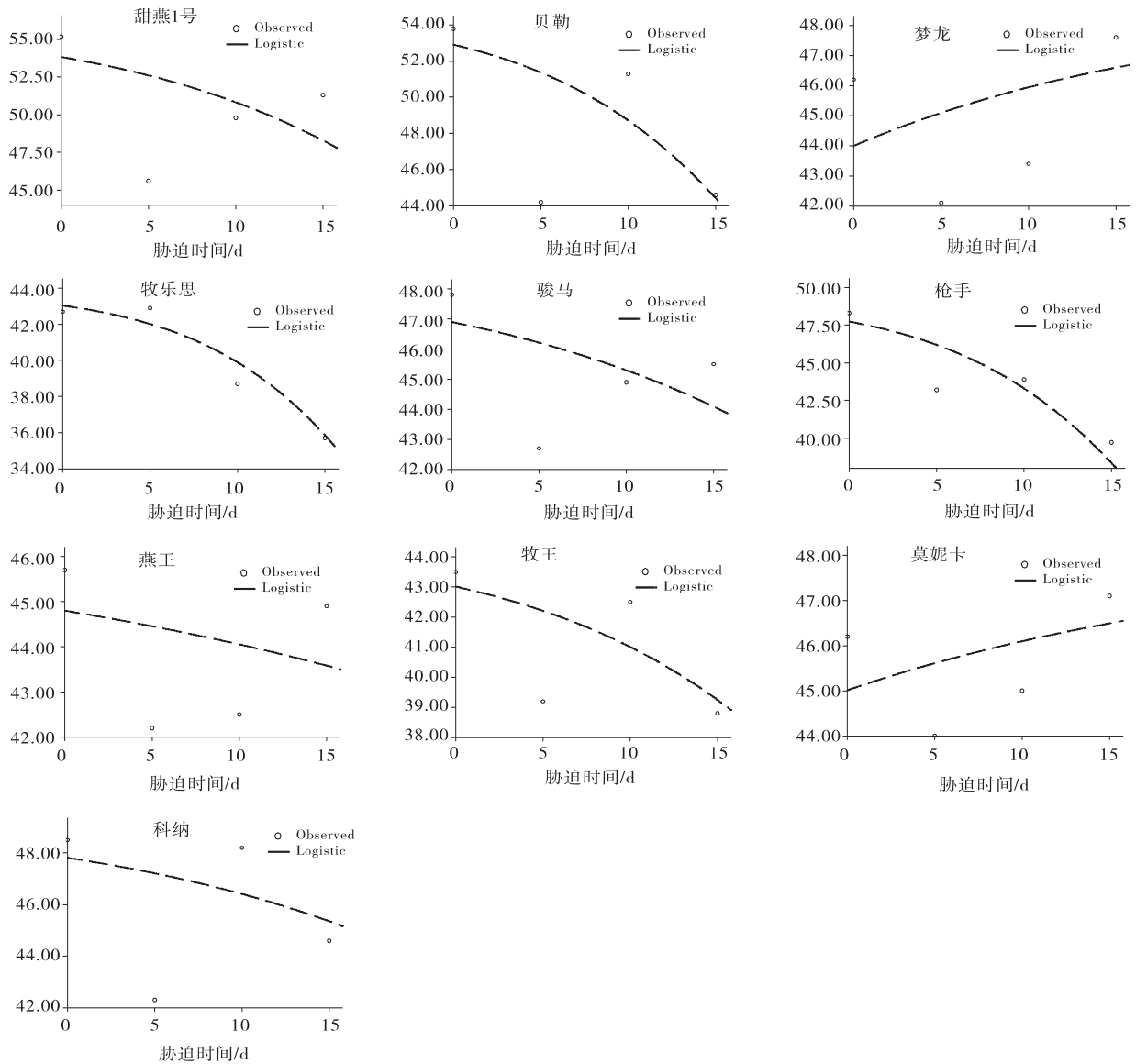
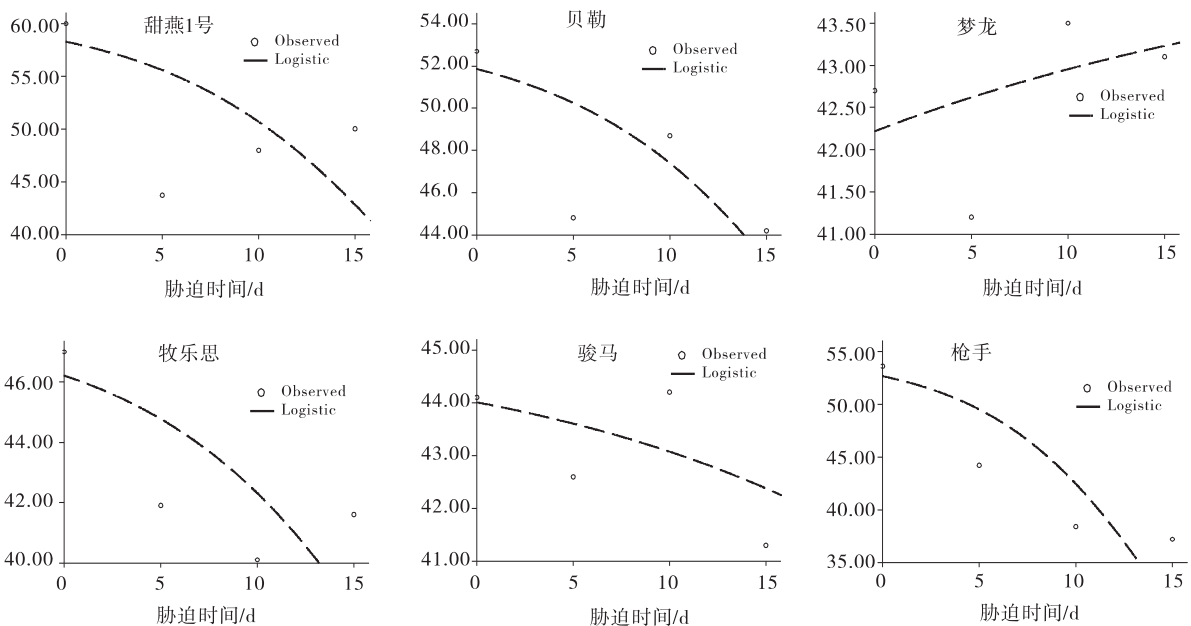


图7 高温处理下各饲用燕麦品种倒二叶SPAD值线性分析

Fig. 7 Linear analysis of SPAD value of two leaves of each feeding oats under high temperature treatment



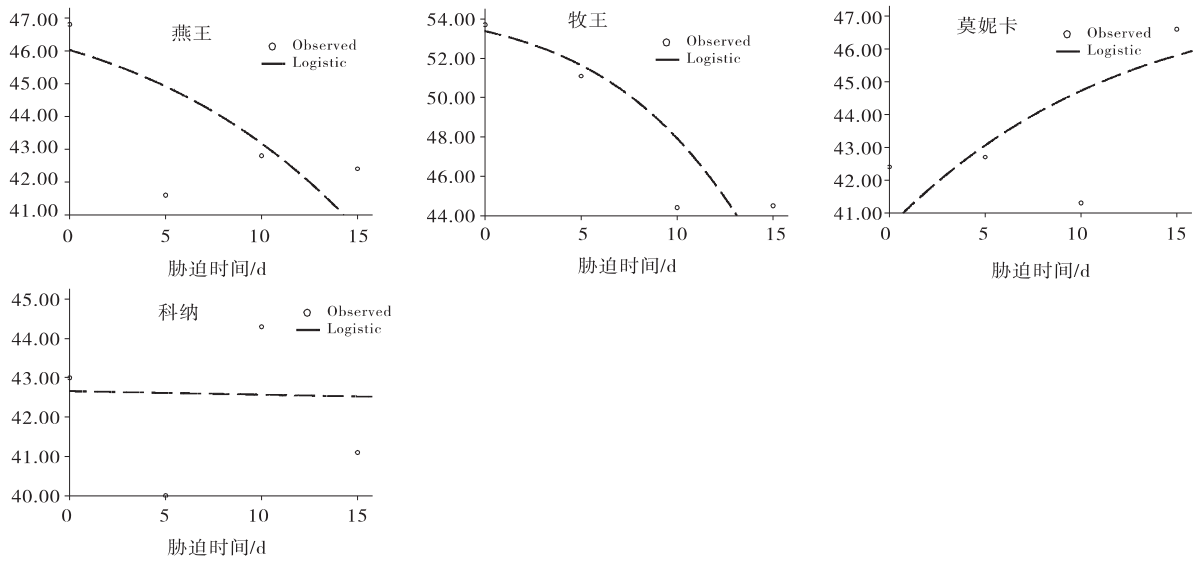


图 8 高温处理下饲用燕麦品种倒三叶 SPAD 值线性分析

Fig. 8 Linear analysis of SPAD value of three leaves of oat varieties under high temperature treatment

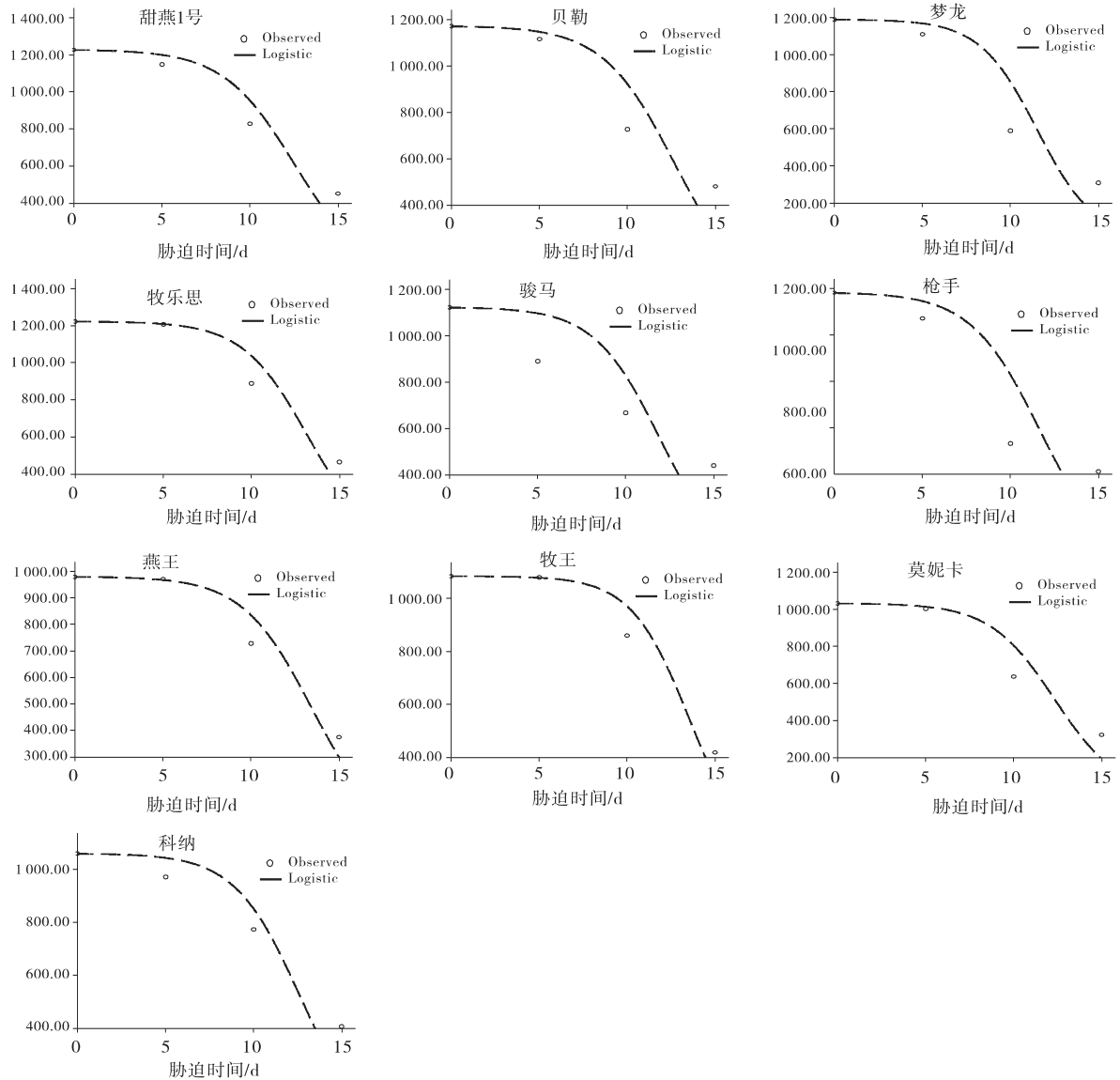


图 9 高温处理下饲用燕麦品种可变荧光值线性分析

Fig. 9 Linear analysis of variable fluorescence values of different forage oats under high temperature treatment

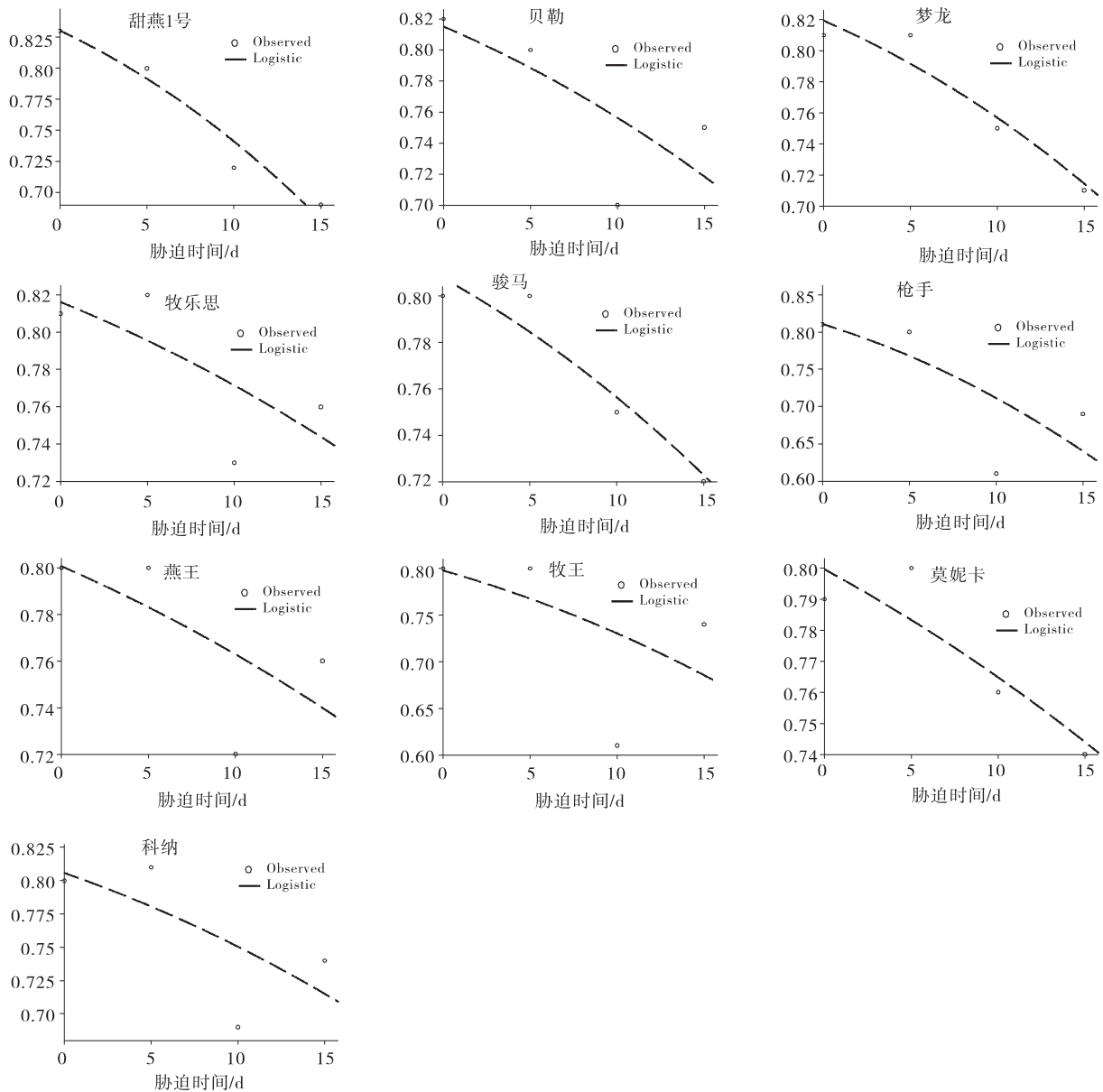


图 10 高温处理下饲用燕麦品种光化学效率线性分析

Fig. 10 Linear analysis of photochemical efficiency of forage oats under high temperature treatment

表 2 饲用燕麦品种耐高温隶属函数分析

Table 2 Membership function analysis of high temperature tolerance of forage oats

品种	SPAD 值			可变荧光值	光化学效率	总值	排序
	旗叶	倒二叶	倒三叶				
甜燕 1 号	0.598	0.936	0.31	0.625	0.299	2.768	5
贝勒	0.737	0.564	0.698	0.732	0.442	3.173	4
梦龙	0.718	0.474	0.667	0.000	0.623	2.482	7
牧乐思	0.000	0.000	0.238	0.701	0.805	1.744	9
骏马	0.699	0.885	0.738	0.522	1.000	3.844	2
枪手	0.450	0.308	0.000	0.531	0.000	1.289	10
燕王	0.569	0.538	0.413	0.661	0.494	2.675	6
牧王	0.072	0.038	0.984	1.000	0.104	2.198	8
莫妮卡	1.000	1.000	1.000	0.455	1.208	4.663	1
科纳	0.656	0.731	0.73	0.902	0.312	3.331	3

下叶片 SPAD 值处于较高水平,牧乐思、枪手和牧王在高温胁迫下叶片 SPAD 值较低。说明高温胁迫下甜燕 1 号、贝勒、莫妮卡和科纳 SPAD 值较牧乐思、枪手和牧王 SPAD 值能够保持较高水平。

高温胁迫通过影响光合电子传递、光合磷酸化等过程限制光合速率,同时高温胁迫会引发光合机构的损伤^[23]。叶绿素荧光相关参数能够反映这些光合反应和光合机构的受损情况。本研究表明高温胁迫下各饲用燕麦品种叶片光化学特性变化一致均有下降趋势。说明高温影响了饲用燕麦的潜在活性,阻碍了光合作用的电子传递。本试验光化学效率的变化高温处理总体较对照偏低,但出现个别品种在不同处理时间下较对照升高,而陈景玲^[24]研究高温处理下离体栓皮栎叶片最大光化学效率变化未处理时间的延长而变化,这有可能是离体测定和活体测定存在误差,但在本次活体测定中表现规律不一致。

本次试验表明高温胁迫下甜燕 1 号、贝勒、莫妮卡和科纳 SPAD 值较牧乐思、枪手和牧王 SPAD 值能够保持较高水平。牧乐思叶片光化学特性强于牧王和枪手。

4 结论

在科尔沁沙地种植 10 个饲用燕麦品种,通过人工覆膜模拟高温处理,测定叶片 SPAD 值及荧光参数,通过隶属函数法得出各饲用燕麦抗高温能力排序为莫妮卡>骏马>科纳>贝勒>甜燕 1 号>燕王>梦龙>牧王>牧乐思>枪手。

参考文献:

[1] 柴继宽,赵桂琴,师尚礼. 燕麦种子产量构成因子与产量的关联性分析[J]. 草地学报,2012,20(1):49-53.

[2] 陈彩锦,尚继红,师尚礼,等. 宁夏六盘山区 7 个饲用燕麦品种农艺性状、产量及品质的相关性研究[J]. 草原与草坪,2021,41(2):129-135.

[3] 方保停,李向东,邵运辉,等. 黄淮麦区冬小麦品种耐热性比较研究[J]. 河南农业科学,2019,48(7):19-23.

[4] 马晓娣,彭惠茹,汪矛,等. 作物耐热性的评价[J]. 植物学通报,2004(4):411-418.

[5] 韩利明,张勇,彭惠茹,等. 从产量和品质性状的变化分析北方冬麦区小麦品种抗热性[J]. 作物学报,2010,36(9):1538-1546.

[6] 耿晓丽,张月伶,臧新山,等. 北方冬麦区与黄淮北片优良小麦品种(系)耐热性评价[J]. 麦类作物学报,2016,36(2):172-181.

[7] 赵彦坤,王秀堂,王静,等. 热胁迫对不同小麦品种 14. 灌浆速率的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(9):1239-1245.

[8] 孔芬,刘小勇,陶俊. 芍药蕾期叶片 SPAD 值与净光合速率的变化[J]. 甘肃农业科技,2015,46(5):12-16.

[9] 姚启伦,陈发波,李文博,等. 玉米自交系耐热生理指标筛选研究[J]. 玉米科学,2019,27(6):84-88.

[10] 赵丽丽,邓蓉,向清华,等. 高温对金荞麦光合气体交换和叶绿素荧光特性的影响[J]. 草业科学,2015,32(4):560-569.

[11] 王佩舒,赵薇,陈景玲,等. 高温胁迫对冬小麦旗叶伤害的叶绿素荧光指标初探[J]. 河南农业大学学报,2016,50(1):25-32.

[12] Krause G, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photo-synthesis: the basics[J]. Annual review of plant biology, 1991,42(1):313-349

[13] Oncel I, Keles Y, Ustun A. Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings[J]. Environ Pollut,2000,107(3):315-320

[14] Berry J, Bjorkman O. photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants [J]. Annual Review of plant physiology,1980. 31(4):491-543

[15] 付丽军,李聪晓,苏胜宇,等. 黄瓜苗期耐热种质筛选与耐热性评价体系构建[J]. 植物生理学报,2020,56(7):1593-1604.

[16] 何丽斯,李辉,刘晓青,李畅,等. 基于光合特性评价 10 个杜鹃花品种的耐热能力[J]. 江苏林业科技,2019,46(4):21-26.

[17] 田小霞,毛培春,孟林,等. 无芒雀麦苗期耐盐指标筛选及耐盐性综合评价[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(10):156-161.

[18] 贾志国,张丽,肖建忠,等. 仙客来品种间耐热性比较研究[J]. 北方园艺,2008(11):122-124.

[19] 卢晓萍,杨丙贤,徐娟娟,等. 3 种小檗科植物叶片 SPAD 值与叶绿素的相关性及通径分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2013,39(3):261-266.

[20] 张桂莲,陈立云,张顺堂,等. 抽穗开花期高温对水稻剑叶理化特性的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(7):1345-1352.

- [21] 赵海明,刘君,杨志民. 夏季高温对不同草地早熟禾品种坪用质量的影响[J]. 草业科学,2010,27(1):4-10.
- [22] 陈秀萍,贺漫媚,王伟,等. 高温胁迫对2种兜兰叶片生理生化指标的影响[J]. 中国农学通报,2020,36(28):72-77.
- [23] 张顺堂,张桂莲,陈立云,等. 高温胁迫对水稻剑叶净光合速率和叶绿素荧光参数的影响[J]. 中国水稻科学,2011,25(3):335-338.
- [24] 陈景玲,宋晓明,王谦,等. 基于叶绿素荧光参数的栓皮栎叶片PS II失活高温指标[J]. 中国农业气象,2013,34(5):563-568.

Evaluation of heat tolerance of ten forage oats based on SPAD value and photosynthetic characteristics

ZHANG Shu-juan¹, ZHANG Yu-xia¹, CONG Bai-ming², TIAN Yong-lei³,
ZHANG Qing-xin¹, DU Xiao-yan¹, WANG XIN¹

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia University for nationalities, Tongliao 028000, China; 2. Tongliao Institute of agriculture and animal husbandry, Tongliao 028000, China; 3. College of agriculture and animal husbandry of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China)

Abstract: 【Objective】 To provide theoretical basis for planting forage oat varieties with high yield and high efficiency in northern desertification area. 【Method】 Ten forage oat varieties were planted in Horqin sandy land, and were treated with film coating at high temperature at booting stage with untreated oats as the control. The fluorescence parameters and chlorophyll SPAD values of the leaves were determined. 【Result】 The results showed that under high temperature stress feeding Oat varieties showed lower SPAD value, variable fluorescence value and potential photochemical efficiency than those of control. The temperature tolerance of different forage oat varieties was analyzed by membership function, and the order was Monica > Junma > Kona > Baylor > Sweet Yan No. 1 > Yan Wang > Menglong > Mu Wang > Mulus > Gunner. 【Conclusion】 Monika, Junma and Kona were selected as high temperature tolerant varieties suitable for planting in this area.

Key words: high temperature stress; forage oats; chlorophyll; fluorescence parameters