

棉花种子活力与其植株停留期间气象因子的关系研究

徐敏¹, 李憬霖², 叶福民¹, 朱鹤¹, 金路路¹, 单莹¹, 王子胜^{1*}

(1. 辽宁省经济作物研究所, 辽宁 辽阳 111000; 2. 中国农科院棉花研究所, 河南 安阳 455000)

摘要:【目的】探讨种子植株停留期间的气象条件对棉花种子活力的影响。【方法】本试验选择辽棉 31 和辽棉 25 两个棉花品种, 利用开花当日挂花的方法, 获得不同成熟度的棉花种子群体。通过研究比较群体中各样本的百粒重、7 d 发芽率、主要营养成分含量以及发芽期间丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 浓度及过氧化物酶 (Peroxidase, POD)、过氧化氢酶 (Catalase, CAT)、超氧化物歧化酶 (Superoxide dismutase, SOD) 活性。【结果】棉花种子的百粒重与植株停留时间显著相关, 与开花时间关系不大。辽棉 31 种子的粗脂肪含量显著高于辽棉 25。两个品种间可溶性糖含量和淀粉含量差异不显著, 且可溶性糖含量与种子的植株停留时间显著相关。种子发芽期间 MDA 浓度呈先升高后下降趋势, 辽棉 25 的 MDA 浓度稍低于辽棉 31, 但两个品种间差异不显著。种子发芽期间 POD 活性呈先升高后下降趋势, 下降较明显; CAT 活性呈先下降再升高趋势, 下降明显, 但升高有限; SOD 活性呈逐渐下降趋势, 下降明显。辽棉 25 种子中上述 3 种酶的活性都稍高于辽棉 31, 但差异不显著。通过气象因子与种子生理生化指标的相关分析, 发现降水量、 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 积温、日温差和日照时间等 4 个气象因子与种子的百粒重、可溶性糖含量、MDA 浓度以及 CAT 活性等 4 个特征指标显著或极显著相关。以 4 个气象因子为自变量、4 个种子特征指标为因变量, 利用逐步回归的方法获得了 25 个模拟模型, 对其中 13 个模型利用边缘分析的方法, 得出 4 个气象因子的边际效应。【结论】种子植株停留期间的降水量、 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 积温、日温差和日照时间 4 个气象因子通过影响种子的百粒重、可溶性糖含量、MDA 浓度以及 CAT 活性 4 个特征指标, 进而影响到种子的总体活力, 其中日温差和日照时间对种子特征指标的影响较大。辽河流域棉区棉花种子的植株停留时间以 65~70 d 为宜, 这部分种子主要来自早伏桃及部分伏前桃。

关键词: 棉花; 种子; 种子活力; 气象因子; 生长发育

Relationship between cotton seeds vigor and meteorological factor during plant residence

Xu Min¹, Li Jinglin², Ye Fumin¹, Zhu He¹, Jin Lulu¹, Shan Ying¹, Wang Zisheng¹

(1. Cash Crop Institute of the Liaoning Academy of Agricultural, Liaoyang, Liaoning 111000, China; 2. Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang, Henan 455000, China)

Abstract: [Objective] This study aims to determine the effect of meteorological conditions on cottonseed vigor. [Method] Two cotton varieties, Liaomian 31 and Liaomian 25 were selected. Flowers were hanged on the day of flowering, and the population of seeds with different plant resident time was obtained. The 100-seed weight, 7 d germination rate, and main nutrient content of the seeds were measured. Malondialdehyde (MDA) concentration, peroxidase (POD) activity, catalase (CAT) activity, and superoxide dismutase (SOD) activity during germination were also measured. [Result] The 100-seed weight was related to seed residence time in plant but not to with flowering time. The crude fat content in Liaomian 31 seeds was significantly higher than that in Liaomian 25 seeds. The contents of soluble sugars and starch were not significantly different between the two cultivars, and the contents of soluble sugars were related to seed residence time in the plant. During germination, the MDA concentration increased first and then decreased, and was lower in Liaomian 25 than that in Liaomian 31 without significant

收稿日期: 2019-12-06 第一作者简介: 徐敏, 女 (1969—), shummin690101@163.com。

* 通信作者: wangzisheng6666@126.com.cn

基金项目: 国家棉花产业技术体系辽河综合试验站 (CARS-15-05); 西北内陆优质机采棉花新品种培育 (2017YFD0101601-5); 转基因生物新品种培育科技重大专项 (2016ZX08005-002); 棉花强优势杂交种的选育及示范推广 (2016YFD0101412) 黄河流域高效轻简化棉花新品种培育 (SQ2018YFD010081)

difference. The POD activity increased first and then decreased obviously. The CAT activity decreased first obviously and then increased limitedly. The SOD activity decreased continuously and obviously. The activities of POD, CAT, and SOD in Liaomian 25 were higher than those in Liaomian 31 without significant difference. The correlation analysis between meteorological factors and seed physiological and biochemical indices indicated that 4 meteorological factors, namely, precipitation, the accumulated temperature of $\geq 12^{\circ}\text{C}$, diurnal range, and sunshine hours, exhibited significant or extreme significant correlation with 100-seed weight, soluble sugar content, MDA concentration, and CAT activity during seed germination. Twenty-five simulation models were obtained by stepwise regression method with the four meteorological factors as independent variables and the four seed characteristic indices as dependent variables. Among these models, 13 quadratic polynomial models were further analyzed by edge analysis to determine the marginal effects of meteorological factors. [Conclusion] Overall, four meteorological factors, precipitation, the accumulated temperature of $\geq 12^{\circ}\text{C}$, diurnal range and sunshine hours during seed resident in plants affected the four seed characteristic indices, 100-seed weight, soluble sugar content, MDA concentration, CAT activity, and consequently influenced seed vigor. Among them, the influence of diurnal range and sunshine hours on seed characteristic index is greater. The optimal plant resident time of cotton seeds in the Liaohe River Basin was 65-70 d. These bolls are mainly formed in the middle of July.

Keywords: cotton; seed; seed vigor; meteorological factors; seed development

1976 年,国际种子检验协会(ISTA)将种子发芽和出苗期间活性的综合表现,定义为种子活力^[1],并以之作为衡量种子质量的主要指标。在种子萌发过程中,会发生一系列生理生化变化,如信号和激素物质被激活,种子的休眠被打破,大分子物质的修复^[2],氧化还原酶(Peroxidase, POD, 过氧化物酶;superoxide dismutase, SOD 超氧化物化酶;catalase, CAT, 过氧化氢酶等)被激活等,从而决定了种子活力。大量的研究表明,种子活力与种子成熟度密切相关^[3]。种子所含成分的差异也会对种子活力造成一定影响^[4-5]。棉花生长发育期间的气象条件必然会影响到种子的发育。张旺峰^[6]等通过比较不同生态区棉花铃重变化与气象因子之间的关系,认为新疆棉区日照时间长、平均温度高、日温差大,有利于光合物质的产生及在棉铃中的积累,是新疆棉区获得高产的生理基础。张丽娟等^[7]、马富裕等^[8]研究认为,棉花纤维比强度是对气候变化最为敏感的品质指标,而温度是其最主要的影响因素。王友华等^[9]研究认为,不同棉花品种纤维比强度的稳定性存在较大差异,变异的主要来源在于其对温度变化敏感性的差异。可见,关于棉花生长与气象条件的关系,前人更多关注棉铃发育、纤维品质等方面。另一方面,关于种子和种子活力的研究,林业和其他经济作物的研究受到一定的重视,而有关大田作物种子的研究较少。有关棉花种子活力的研究

更多集中在种子引发^[10-14]、老化和劣变等方面^[15-17]。陈莉等^[13]研究认为,褪黑素能够影响棉花种子的萌发;刘瑞显等^[14]研究发现,小麦秸秆的浸提液和腐解液具有极强的化感效应,能够抑制棉花种子的萌发和幼苗生长。棉花种子作为重要的生殖器官,其生长发育的过程必然会受到外界条件的影响。张文强等^[18]研究了不同果位和结铃期对棉花种子活力的影响,认为高活力种子生产以采收中部果位的伏桃种子为宜。

那么,气象因子是如何通过影响种子的发育,进而影响种子活力呢?本试验通过比较不同成熟度棉花种子的特征以及萌发过程中的生理生化指标的变化,力图发现其中的规律,为生产实践提供指导。

1 材料与方法

1.1 供试棉花品种

本试验选择辽棉 25、辽棉 31 两个棉花品种。这两个品种都是辽宁省经济作物作物研究所选育的,遗传差异较大。其中:辽棉 25 号于 2011 年审定,编号为:辽审棉[2011]27 号。生育期 122 d 左右,长势较旺,植株塔形、松散,叶片较大,叶色深绿;铃卵圆形,较大。种子较大。衣分 40.20%。抗病性强,高抗枯萎病,抗黄萎病。棉絮洁白,纤维品质优良。辽棉 31 号于 2014 年审定,编号:辽审棉 2014002。生育期 130 d 左右;长势中等,植株塔

形、较松散;叶片较小,叶色较深;铃卵圆形,较大。种子大小中等。衣分 40.98%。抗病性强,抗枯萎病,抗黄萎病。棉絮乳白色,纤维品质优良。

1.2 不同植株停留时间棉花种子群体的获得

2016 年,在辽宁省经济作物研究所试验地,于棉花花期(7月12日、7月19日、7月26日、8月2日、8月9日)对当日所开花挂牌标记。在棉花吐絮期(9月19日、9月29日、10月12日)分别收

获。将所收获的棉花分别轧花收取种子,构成不同成熟度的棉花种子群体。两个品种共包含 13 份样品。详见表 1。

1.3 棉花种子特征指标的测定

从不同成熟度棉花种子群体中取适量种子,硫酸脱绒后,检测百粒重,并进行发芽试验。

1.3.1 种子百粒重测定。选择大小均匀、无破损的种子,测量百粒种子质量,每样品重复 3 次,取

表 1 不同成熟度棉花种子群体
Table 1 Cotton seed population with different maturity levels

辽棉 31 Liaomian 31	棉铃生长发育期 Dates	时间 Time /d	辽棉 25 Liaomian 25	棉铃生长发育期 Dates	时间 Time /d
1	08-02—09-19	48	7	08-02—09-29	58
2	07-26—09-19	55	8	07-26—09-29	65
3	08-02—09-29	58	9	08-02—10-12	71
4	07-19—09-19	62	10	07-19—09-29	72
5	07-12—09-19	69	11	07-26—10-12	78
6	08-02—10-12	71	12	07-12—09-29	79
			13	07-19—10-12	85

平均值为种子百粒重。

1.3.2 种子发芽试验。每样品取 100 粒种子,使用发芽盒,在温度 28℃、湿度 40%的条件下,利用培养箱进行发芽试验。在第 7 天时计算种子发芽率,3 次重复,取平均值。

1.4 棉花种子营养成分含量的测定

利用索氏提取法测定种子的粗脂肪含量,所用仪器为 FOSS Soxtec 8000 索氏提取仪。用蒽酮显色法测定种子的可溶性糖含量和淀粉含量^[9]。

1.5 棉花种子萌发期间酶水平的测定

各样品取 10 粒种子(约 1 g),使用发芽盒在在温度 28℃、湿度 40%的条件下,利用培养箱进行发芽试验。分别在发芽第 1 天、第 4 天、第 7 天测定种子丙二醛(MDA)浓度及过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性。所有指标的测定均重复 3 次,最终结果取平均值。具体检测方法:采用 TBA 比色法测定种子丙二醛(MDA)浓度,采用愈创木酚法测定种子过氧化物酶(POD)活性,采用紫外吸收法测定种子过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性^[20]。

1.6 气象数据收集整理

本文所有气象数据皆采自中国气象数据网。

1.7 数据整理与分析

利用 MS Excel 2007 软件进行数据的初步整理和作图,利用 DPS 软件进行分析和比较。

2 结果与分析

2.1 种子植株停留期间气象因子汇总

经过检索中国气象数据网,选择了降水量 X_1 、相对湿度 X_2 、平均气温 X_3 、 $\geq 12^\circ\text{C}$ 积温 X_4 、日最高温 X_5 、日最低温 X_6 、日温差 X_7 和日照时间 X_8 共 8 个因子。根据各样本的开花日期和植株停留时间,对各指标分别取值。如表 2。

由表 2 可见,随着种子植株停留时间的增加,降水量、日照时间和 $\geq 12^\circ\text{C}$ 积温 3 个累计指标和日温差共 4 个指标呈现不稳定的上升趋势,与预期相符。相对湿度以及日均气温、日最高气温、日最低气温 4 个平均指标与种子的挂牌时间表现一定的同步趋势,即:挂牌时间越晚,各指标值越低。总体来看:第一次挂牌时(7月12日)正值伏季,为一年中高温高湿季节;7月底开始,温

表 2 种子植株停留期间的主要气象因子

Table 2 Main meteorological factors during seed resident on the plants

种子在植株 上的停留时 间 Resident time /d	降水量 Precipita- tion / mm (X ₁)	相对湿度 Relative Humidity / % (X ₂)	气温					日照时间 Sunshine duration /h (X ₈)
			日均气温	≥12℃积温	最高气温	最低气温	日温差	
			Average temperature / ℃ (X ₃)	Accumulated temperature ≥ 12℃ /℃(X ₄)	Highest temperature / ℃ (X ₅)	Lowest temperature / ℃ (X ₆)	Diurnal range /℃ (X ₇)	
69	465.01	70.2	24.5	876.8	28.7	21.0	7.7	457.8
79	497.82	68.9	23.8	943.5	28.1	20.1	7.9	526.1
62	399.36	70.6	24.5	786.0	28.7	21.0	7.7	415.2
72	432.17	69.1	23.7	852.7	28.0	20.0	7.9	483.5
85	497.69	67.3	22.2	873.3	26.5	18.4	8.1	563.9
55	365.71	70.1	24.2	680.4	28.5	20.6	7.8	381.8
65	398.52	68.5	23.3	747.1	27.7	19.6	8.1	450.1
78	464.04	66.7	21.7	767.7	26.1	17.9	8.3	530.5
48	299.50	68.9	23.8	580.3	28.1	20.3	7.9	347.1
58	332.31	67.3	23.0	647.0	27.3	19.2	8.1	415.4
71	397.83	65.5	21.3	667.6	25.7	17.4	8.3	495.8

注:1~6:辽棉 31 样品,7~13:辽棉 25 样品。

Note: 1-6: Samples from Liaomian 31; 7-13: Samples from Liaomian 25.

度下降、降水减少,同时日照增加、日温差加大,综合气象条件有利于植株的干物质积累和成熟。本试验正是基于这个出发点而设计和进行的。

2.2 种子百粒重和发芽率

由表 3 可见:样本间百粒重差异显著,并且与种子的植株停留时间显著负相关($r=-0.5849$, $\alpha=0.05$ 时相关系数临界值 $r=0.5529$): 种子的植株停留时间在 50~70 d 之间时,百粒重可达 10 g 以上;低于 50 d 或高于 70 d 都会下降。各样本种子的 7 d 发芽率差异较小,与种子的植株停留时间无显著相关。无论是百粒重还是 7 d 发芽率,辽棉 31(10.01 g,82.28%)都稍高于辽棉 25(9.79 g,80.19%)。

2.3 种子主要营养成分含量

由图 1 可见,棉花种子中粗脂肪含量最高,达到 20%左右,因此,棉花种子被归类为脂肪类种子^[21];其次是可溶性糖,5%左右;淀粉含量最低,3%左右。总体看来,样本间粗脂肪含量差别较大,淀粉含量和可溶性糖含量差别较小。辽棉 31 的粗脂肪含量(19.56%)高于辽棉 25 号(18.42%),两个品种间差异显著($P=0.0016$);辽棉 31 的可溶性糖含量和淀粉含量(5.14%,2.99%)稍低于辽棉 25(5.32%,3.33%),两个品种间差异不显著。各

表 3 种子百粒重和发芽率统计表

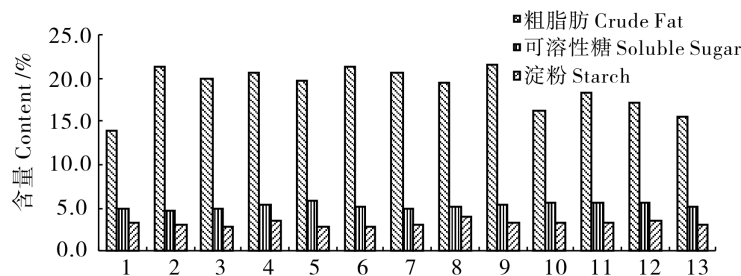
Table 3 100-seed weight and germination rate

样本编号	百粒重	7 d 发芽率
Samples	100-seed weight /g	7 d germination rate /%
1	9.68±0.20 bcd	81.33±2.08 abc
2	10.30±0.10 a	79.33±3.51 abc
3	10.27±0.21 a	82.00±3.60 abc
4	10.20±0.00 ab	83.67±2.52 ab
5	10.30±0.26 a	83.00±5.29 abc
6	9.32±0.58 d	84.33±4.16 a
7	10.33±0.23 a	78.67±3.21 abc
8	10.27±0.25 a	82.67±3.78 abc
9	10.13±0.15 abc	80.33±3.51 abc
10	9.61±0.53 cd	76.67±5.69 bc
11	9.70±0.42 bcd	76.00±1.00 c
12	9.88±0.08 abc	83.33±2.89 ab
13	8.62±0.13 e	83.67±2.89 ab

注:1~6:辽棉 31 样品,7~13:辽棉 25 样品。

Note: 1-6: Samples from Liaomian 31; 7-13: Samples from Liaomian 25.

营养成分中,只有可溶性糖含量与种子的植株停留时间表现显著相关($r=0.6501$, $\alpha=0.05$ 时相



注:1~6:辽棉 31 样品,7~13:辽棉 25 样品。

Note: 1-6: Samples from Liaomian 31; 7-13: Samples from Liaomian 25.

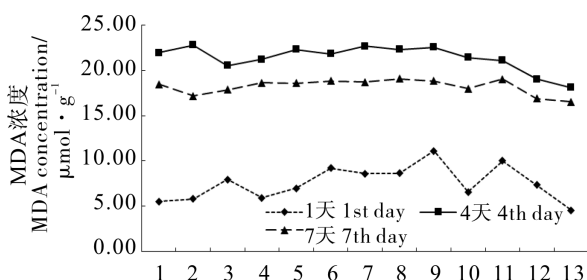
图 1 种子主要成分含量

Fig. 1 Content of main nutrients in seeds

关系数临界值 $r=0.5529$)。

2.4 种子发芽期间丙二醛(MDA)浓度变化情况

由图 2 可见,种子发芽期间 MDA 浓度呈先升高后下降趋势。发芽 1 d 时,种子的生理活性较小,MDA 浓度较低($7.57 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)且样品间差异较大。发芽 4 d 时,种子被充分激活,进入萌发旺盛期,MDA 浓度上升明显($21.35 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)且样品间差异缩小。发芽 7 d 时,已经到发芽末期,种胚的活性降低,MDA 浓度也随之降低($18.19 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$),样品间差距继续缩小。总体来看,辽棉 25 的 MDA 浓度($9.79 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)低于辽棉 31($10.01 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$),两个品种间差异不显著。



注:1~6:辽棉 31 样品,7~13:辽棉 25 样品。

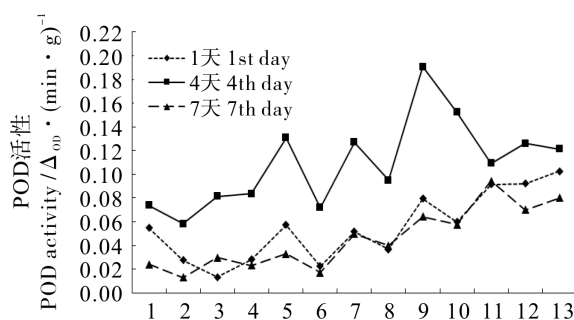
Note: 1-6: Samples from Liaomian 31; 7-13: Samples from Liaomian 25.

图 2 MDA 浓度变化情况

Fig. 2 Change of MDA concentration

2.5 种子发芽期间酶活性变化情况

2.5.1 过氧化物酶(POD)活性变化情况。由图 3 可见,种子发芽期间 POD 活性呈先升高后下降趋势,下降较明显,且样品间差别明显。发芽 1 d 时,平均 POD 活性为 $0.055 \Delta_{\text{OD}}\cdot(\text{min}\cdot\text{g})^{-1}$;4 d 时为 $0.109 \Delta_{\text{OD}}\cdot(\text{min}\cdot\text{g})^{-1}$,几乎是发芽 1 d 时的



注:1~6:辽棉 31 样品,7~13:辽棉 25 样品。

Note: 1-6: Samples from Liaomian 31; 7-13: Samples from Liaomian 25.

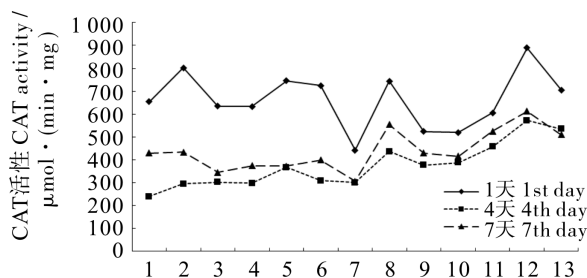
图 3 POD 活性变化情况

Fig. 3 Changes of POD activity

2 倍;7 d 时迅速下降为 $0.046 \Delta_{\text{OD}}\cdot(\text{min}\cdot\text{g})^{-1}$,比 1 d 时还要低。总体来看,辽棉 25 的 POD 活性($0.13 \Delta_{\text{OD}}\cdot(\text{min}\cdot\text{g})^{-1}$)高于辽棉 31 ($0.08 \Delta_{\text{OD}}\cdot(\text{min}\cdot\text{g})^{-1}$),但两个品种间差异不显著。

2.5.2 过氧化氢酶(CAT)活性变化情况。由图 4 可见,种子发芽期间 CAT 活性呈先下降再升高趋势,下降明显,但升高有限;且样品间差别明显。发芽 1 d 时,CAT 活性(以蛋白质含量计)为 $663.40 \mu\text{mol}\cdot(\text{min}\cdot\text{mg})^{-1}$;4 d 时为 $375.31 \mu\text{mol}\cdot(\text{min}\cdot\text{mg})^{-1}$,几乎下降了 50%;7 d 时微有上升,达到 $439.21 \mu\text{mol}\cdot(\text{min}\cdot\text{mg})^{-1}$ 。辽棉 25 的 CAT 活性($437.96 \mu\text{mol}\cdot(\text{min}\cdot\text{mg})^{-1}$)稍高于辽棉 31 ($302.22 \mu\text{mol}\cdot(\text{min}\cdot\text{mg})^{-1}$),但两个品种间差异不显著。

2.5.3 超氧化物歧化酶(SOD)活性变化情况。由图 5 可见,种子发芽期间 SOD 活性呈明显下降趋势,且样本差别较小。发芽 1 d 时,SOD 活性为

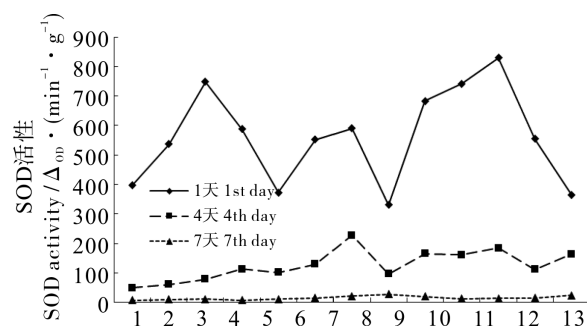


注:1~6:辽棉 31 样品,7~13:辽棉 25 样品。

Note: 1-6: Samples from Liaomian 31; 7-13: Samples from Liaomian 25.

图 4 CAT 活性变化情况

Fig. 4 Changes of CAT activity



注:1~6:辽棉 31 样品,7~13:辽棉 25 样品。

Note: 1-6: Samples from Liaomian 31; 7-13: Samples from Liaomian 25.

图 5 SOD 活性变化情况

Fig. 5 Changes of SOD activity

560.49 $\Delta_{\text{OD}} \cdot (\text{min} \cdot \text{g})^{-1}$, 4 d 时为 126.30 $\Delta_{\text{OD}} \cdot (\text{min} \cdot \text{g})^{-1}$, 7 d 时为 14.94 $\Delta_{\text{OD}} \cdot (\text{min} \cdot \text{g})^{-1}$, 辽棉 25 的 SOD 活性 158.51 $\Delta_{\text{OD}} \cdot (\text{min} \cdot \text{g})^{-1}$ 高于辽棉 31 的 88.71 $\Delta_{\text{OD}} \cdot (\text{min} \cdot \text{g})^{-1}$, 但两个品种间差异不显著。

2.6 棉花种子基本特征与发芽期间生理生化指标与气象因素的相关分析

根据徐敏等^[21]研究的结果,种子发芽 4 d 时为发芽盛期,其各项指标更具有代表性,因此,以发芽 4 d 时数据为基础,计算种子的特征指标和气象因子之间的相关关系(表 4)。

由表 4 可见,可溶性糖含量与降水量和日温差呈现极显著正相关,与 $\geq 12^\circ\text{C}$ 积温和日照时间显著正相关。MDA 含量与降水量、 $\geq 12^\circ\text{C}$ 积温、日温差和日照时间呈现显著负相关。CAT 活性与降水量、 $\geq 12^\circ\text{C}$ 积温、日温差和日照时间呈现极显著正相关。此外,百粒重与日照时间呈现显著负相关。

由此可见,从气象因子方面来说,降水量、 \geq

12°C 积温、日温差和日照时间与种子的部分生理生化指标显著或极显著相关;从种子的生理生化指标来说,可溶性糖含量、MDA 浓度和 CAT 活性与部分气象因子的相关达到显著或极显著水平。因此,以下主要围绕百粒重、可溶性糖含量、MDA 浓度和 CAT 活性 4 个种子的特征指标和降水量、 $\geq 12^\circ\text{C}$ 积温、日温差和日照时间 4 个气象因子进行分析。

2.7 棉花种子特征指标与气象因子的数学模型模拟

在以上分析的基础上,将相关显著或极显著的指标进行二次多项式逐步回归分析,以气象因子为自变量,以棉花的生理生化特征值为因变量,建立模拟方程。由于本试验选用 2 个品种,因此,选用两品种平均值及辽棉 31、辽棉 25 各自的数据分别进行模拟,其中 25 个模型模拟成功 ($r^2 \geq 0.5, P \leq 0.05$),详见表 5。

所有模拟成功的 25 个模型中,所表现的趋势与相关分析的结果基本相符,选择其中符合 $y = ax^2 + bx + c$ 的二次曲线的方程,进一步利用边缘分析方法考察气象因子对各指标的边际效应(表 6)。

边际效应值反映了种子基本指标对气象因子的反应特征。表中所有指标中,除 CAT 活性与 $\geq 12^\circ\text{C}$ 积温、日照时间的边际效应与预期相差较大外,其余指标基本符合预期。参考张旺峰等^[6]的研究,从逐步回归模型和边际效应的数学模型可以看出,气象因子对棉花种子特性影响的特定特征值都有一个最适值(Optimum value, OV),也就是所说的边际效应。当 $OV = x_i = b/2a$ 时, $y' = 2ax_i - b = 0$, 即是气象因子的最适值。当 $OV < x_i$ 时,由于 y' 变化率不同,表现出不同的趋势: $y' > 0$, 边际效应值为正,即随着各气象因子数值的提高,种子的特征值会上升; $y' < 0$, 边际效应值为负,即随着各气象因子数值的提高,种子的特征值则会下降。当 $OV > x_i$ 时,情况刚好相反。同时, y' 变化率绝对值也能代表 y' 值的稳定程度,即 y' 值对 x 值的利用效率,变化率越大则 y' 值稳定程度越低。由表中可见,降水量的波动对种子各指标的影响不明显,日照时间波动对各指标的影响稍大,而日温差的波动对各指标的影响最大。

表 4 棉花种子特征指标与气象因素的相关系数
Table 4 Correlation coefficients among samples

	降水量 Precipitation /mm (X ₁)	相对 湿度 Relative humidity /% (X ₂)	气温 Temperature					日照时间 Sunshine duration /h(X ₈)
			平均气温 Average tempera- ture /°C (X ₃)	≥12 °C 积温 Accumulated temperature ≥12°C /°C (X ₄)	最高温 Daily highest temperature /°C (X ₅)	最低温 Daily lowestest temperature /°C (X ₆)	日温差 Diurnal range /°C (X ₇)	
百粒重 100-seeds weight	-0.437	0.353	0.450	-0.264	0.460	0.439	-0.300	-0.593*
发芽率 Germination rate	0.120	0.088	0.112	0.155	0.102	0.116	0.2629	0.040
粗脂肪含量 Crude fat content	-0.184	-0.17	-0.158	-0.268	-0.159	-0.171	-0.206	-0.119
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.727**	0.036	-0.042	0.683*	-0.05	-0.031	0.717**	0.601*
淀粉含量 Starch content	0.154	0.232	0.181	0.241	0.205	0.18	0.246	0.068
MDA 浓度 MDA content	-0.592*	0.065	0.103	-0.585*	0.117	0.111	-0.553*	-0.603*
POD 活性 POD activity	0.417	-0.284	-0.273	0.372	-0.278	-0.285	0.290	0.526
CAT 活性 CAT activity	0.867**	-0.116	-0.195	0.786**	-0.192	-0.206	0.788**	0.842**
SOD 活性 SOD activity	0.299	-0.502	-0.519	0.168	-0.529	-0.533	0.068	0.552

注:** 表示相关极显著,* 表示相关显著。

Note: ** significant correlation at the 1% probability level, * significant correlation at the 5% probability level.

所选择的棉花种子特征值并非越大或者越小越好,同时各指标之间还有一定的互作效应。综合各指标的边际效应认为,降水量的最适值为305~480 mm,日温差的最适值7.3~7.83 h,日照时间的最适值为421~508 h。由此推断种子在植株的最佳停留时间为65~72 d。

3 讨论

3.1 棉花种子形成、发育和萌发过程中各项指标互相影响

棉花种子的形成、发育和萌发是一个完整的生理过程,尤其是萌发出苗的过程,受到外部条件和内在因素的共同作用。仅以本试验所选择的4个指标来说,同种作物种子,百粒重大代表种子

成熟度好,储藏丰富,有利于种子萌发;可溶性糖作为能量物质,一般在幼苗能够自主光合作用以前,为种子萌发和出苗提供能量;MDA是种子萌发期间膜脂氧化的产物,但作为有害物质,种子会通过自身的生理作用对其进行分解以消除影响;CAT是一种活跃的过氧化物酶,是种子自身保护系统的重要组成成分。综合来看,MDA含量增加必然会引起CAT活性的提高,CAT的活动又会消耗更多的能量,进而影响其他的生理过程。因此,所有的指标并非简单的升高或下降就有利于提高棉花种子的活力。

3.2 MDA来自于膜脂过氧化,环境胁迫并非必要条件

有观点认为,MDA的形成是由于环境胁迫

表 5 种子生理生化指标与气象因子的二次多项式逐步回归模型

Table 5 Quadratic polynomial stepwise regression models of seed characteristic indices and meteorological factors

气象因子 Meteorological factors	性状指标 Index	品种 Variety	模型 Simulation equation	决定系数 r^2	显著性 P
降水量 Precipitation (X_1)	可溶性糖含量 Soluble sugar content	平均 Ave.	$Y=0.003\ 8X_1+3.694\ 7$	0.528 2	0.004 9**
	MDA 浓度 MDA content	L 25	$Y=-0.000\ 052\ X_1^2+0.05X_1-5.056\ 7$	0.801 7	0.039 3*
	CAT 活性 CAT activity	平均 Ave.	$Y=-0.000\ 2\ X_1^2+0.15\ X_1-5.296\ 5$	0.638 7	0.006 2**
		平均 Ave.	$Y=0.005X_1^2-3.006X_1+693.029\ 4$	0.795 4	0.000 4**
		L 31	$Y=0.000\ 8\ X_1^2+182.782\ 6$	0.822 7	0.012 6*
		L 25	$Y=0.001\ 7\ X_1^2+112.287\ 3$	0.875 0	0.002 0**
≥12℃ 积温 Accumulated temperature ≥12℃ (X_4)	可溶性糖含量 Soluble sugar content	L31	$Y=0.000\ 002\ X_4^2+4.103\ 2$	0.681 8	0.042 9*
	MDA 浓度 MDA content	L25	$Y=-0.000\ 008\ 8\ X_4^2+26.520\ 0$	0.720 8	0.015 7*
	CAT 活性 CAT activity	平均 Ave.	$Y=0.000\ 5X_4^2-0.079\ 4X_4+140.042\ 1$	0.621 0	0.007 8**
		L31	$Y=0.322\ 6X_4+74.361\ 9$	0.727 1	0.030 9*
		L 25	$Y=0.726\ 6X_4-132.798\ 0$	0.719 6	0.015 8*
日温差 Diurnal range (X_7)	可溶性糖含量 Soluble sugar content	平均 Ave.	$Y=1.102\ 2X_7-3.600\ 7$	0.513 6	0.005 8**
	MDA 浓度 MDA content	L 31	$Y=0.090\ 8\ X_7^2-0.602\ 3$	0.661 5	0.049 0*
	CAT 活性 CAT activity	平均 Ave.	$Y=-19.671\ 3X_7^2+308.148\ 1X_7-1\ 183.875\ 9$	0.929 2	0.005 0**
		平均 Ave.	$Y=257.114\ 8X_7^2-3\ 752.639\ 7X_7+13\ 924.449$	0.630 5	0.006 9**
		L 31	$Y=159.246\ 80X_7-963.792\ 1$	0.730 8	0.030 1*
		L 25	$Y=25.864\ 2\ X_7^2-1248.057\ 0$	0.891 4	0.001 4**
日照时间 Sunshine duration (X_8)	百粒重 100-see weight	平均 Ave.	$Y=-0.000\ 076\ X_8^2+0.064\ X_8-3.470$	0.716 1	0.002 0**
		L 31	$Y=-0.000\ 14\ X_8^2+0.121\ 4\ X_8-14.820\ 4$	0.890 0	0.036 0**
		L 25	$Y=-0.000\ 093\ X_8^2+0.081\ 80\ X_8-7.663\ 1$	0.783 5	0.046 9*
	可溶性糖含量 Soluble sugar content	L 25	$Y=-0.000\ 089\ X_8^2+0.090\ 3\ X_8-17.437\ 0$	0.970 8	0.000 9**
	MDA 浓度 MDA content	平均 Ave.	$Y=-0.000\ 17\ X_8^2+0.138\ 4\ X_8-6.513\ 4$	0.585 6	0.012 2*
	CAT 活性 CAT activity	L 25	$Y=-0.000\ 26\ X_8^2+0.223\ 0\ X_8-25.553\ 3$	0.801 3	0.039 5*
		平均 Ave.	$Y=0.003\ 5\ X_8^2-1.843\ 5\ X_8+475.305\ 6$	0.727 7	0.001 5**
		L 25	$Y=1.487\ 5\ X_8-298.431\ 7$	0.647 1	0.029 2*

注:L25 和 L31 分别是辽棉 25 和辽棉 31;“平均”表示辽棉 25 和辽棉 31 的平均值。
Note: L25 and L31 means the Liaomian 25 and Liaomian 31. The “Ave.” means the average values of the two varieties.

造成的,在环境条件良好的情况下,种子能够顺利萌发,不会形成 MDA 的积累。也有研究认为,MDA 来源于膜的过氧化,其产生是种子发芽过程中不可避免的生理活动^[4]。本试验的结果更倾向于第二种观点。另一方面,有关种子的试验研究一般采用人工发芽的形式进行,提供理论上最适的温度和湿度条件,因此认为种子是在最适条件下萌发。但人工环境与自然环境存在差异,即使提供了理论最适的条件,种子仍然需要通过

一系列自我调节,能够顺利萌发,这一点需要重新加以认识。
3.3 种子自身的抗氧化系统能够起到自我调节和保护的能力
根据 El-Maarouf-Bouteau 等^[22]的研究,在种子萌发过程中,活性氧(ROS)作为信号分子参与调控种子的休眠释放、胚乳的松弛和储存物质的动员。但是,活性氧的过量积累又会起到毒害作用,抑制种子的萌发。随着 O²⁻自由基的积累,种子

表 6 种子特征指标与气象因子的边际效应模型
Table 6 Marginal effect model of seed characteristic indices and meteorological factors

气象因子 Meteorological factors	特征指标 Index	品种 Variety	边际效应模型 Marginal effect model	各指标的 最适值 Optimum value of index	y' 变化率 y' changing rate
降水量 Precipitation (X ₁)	可溶性糖含量	L25	$y' = -0.000\ 104(X_1 - 480.77)$	480.76	-0.000 104
	Soluble sugar content	平均 Ave.	$y' = -0.000\ 4(X_1 - 375.00)$	375.00	-0.000 4
	MDA 浓度 MDA content CAT 活性 CAT activity	平均 Ave.	$y' = 0.01(X_1 - 305.00)$	305.00	0.01
≥12℃ 积温 ≥12℃ Accumulated temperature (X ₄)	可溶性糖含量	平均 Ave.	$y' = 0.001(X_4 - 79.41)$	79.41	0.001
	Soluble sugar content				
	MDA 浓度 MDA content CAT 活性 CAT activity				
日温差 Diurnal range (X ₇)	可溶性糖含量	L25	$y' = -39.342\ 6(X_7 - 7.83)$	7.83	-39.342 6
	Soluble sugar content	平均 Ave.	$y' = 514.229\ 6(X_7 - 7.30)$	7.30	514.229 6
	MDA 浓度 MDA content CAT 活性 CAT activity				
日照时间 Sunshine duration (X ₈)	百粒重 g 100-seeds weight	平均 Ave.	$y' = -0.000\ 152(X_8 - 421.05)$	421.05	-0.000 152
		L31	$y' = -0.000\ 28(X_8 - 433.57)$	433.57	-0.000 28
		L25	$y' = -0.000\ 186(X_8 - 439.78)$	439.78	-0.000 186
	可溶性糖含量	L25	$y' = -0.000\ 178(X_8 - 507.30)$	507.30	-0.000 178
	Soluble sugar content	平均 Ave.	$y' = -0.000\ 34(X_8 - 407.06)$	407.06	-0.000 34
	MDA 浓度 MDA content	L25	$y' = -0.000\ 52(X_8 - 428.85)$	428.85	-0.000 52
	CAT 活性 CAT activity	平均 Ave.	$y' = 0.007(X_8 - 263.36)$	263.36	0.007

注:L25 和 L31 分别是辽棉 25 和辽棉 31;“平均”表示辽棉 25 和辽棉 31 的平均值。
Note: L25 and L31 means the Liaomian 25 and Liaomian 31. The “Ave.” means the average values of the two varieties.

自身具有的抗氧化系统将被激活,以清除 O²⁻自由基,起到自我保护的作用^[9]。本试验所检测的过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶 CAT、超氧化物歧化酶(SOD)就是种子抗氧化系统的重要组成成分。

本试验中,POD、CAT 活性都在发芽 4 d 时达到顶峰,此时也是发芽的高峰,种子的生理活动活跃,O²⁻自由基产生较多。1 d 时种子刚刚萌动、7 d 时种子发芽活动接近尾声,所产生的 O²⁻自由基浓度较低,酶活性也相应较低,以减少能量的消耗。总之,种子发芽期间 O²⁻自由基含量变化会直接影响酶活性的变化,并且与发芽的趋势

基本一致,这一点与预期相符。

3.4 部分气象因子通过影响种子部分特征指标进而影响种子活力

棉花起源于热带和温带地区,属喜温无限生长类型植物^[9]。随着棉花种植范围的扩大,气象因子对棉花生长发育及产量形成的影响逐渐成为人们研究的热点,棉花生产标准化、机械化水平的提高,更加重了对这方面研究的需求。

本试验最初选择了 8 个气象因子,其中相对湿度、日最高温、日最低温和日均气温 4 个指标由于与种子的特征指标相关不显著而剔除,而降

水量、 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 积温、日温差和日照时间 4 个气象因子通过影响种子的百粒重、可溶性糖含量、MDA 浓度以及 CAT 活性, 进而影响种子活力。随着 4 个气象因子指标的上升, 可溶性糖含量、CAT 活性随之上升, 而 MDA 浓度呈下降趋势。可见, 充足的日照、降水、积温及较大的日温差有利于种子发育, 营养物质积累增加, 酶活性提高, 促使种子顺利萌发。边际效应分析发现日温差和日照时间的变化更容易引起可溶性糖含量和 CAT 活性的变化, 即其对种子的发育和成熟影响较明显, 这一点与预期相符。

3.5 关于种子后熟对种子活力影响的研究

后熟作用是指成熟种子离开母体后, 经过一系列的生理生化变化, 完成生理成熟而具备发芽能力的生理过程。后熟期长短因植物种类而异, 同时, 外部条件对种子的后熟有一定的影响。有研究表明, 棉花种子有很明显的后熟过程, 陆地棉的棉籽在棉铃刚吐絮时就有发芽能力, 但发芽率很低, 仅有 14%~18%; 经晒干、储藏 2~4 个月, 棉籽完成后熟作用, 能够显著提高发芽率^[23]。关于棉花种子的后熟, 前人进行了一些研究。李艳萍等^[24]研究了棉花种子后熟过程中活力变化的规律, 认为棉花种子后熟期主要决定于种子干燥脱水的程度。张晓洁等^[25]的研究结果与之相似。

本试验仅比较了种子在植株上停留期间气象条件对其活性的影响。试验所需种子皆于棉铃正常吐絮后收获, 于当年 10 月底轧花, 后即入库统一保存。第二年 4 月初统一硫酸脱绒, 6~7 月统一进行发芽试验和检测。关于后熟对种子活力的影响, 将另外安排试验。

4 结论

本试验通过综合比较各气象因子的边际效应, 认为棉花种子在辽河流域的最适植株停留时间为 65~70 d, 也就是开花时间为 7 月中旬。该类种子大部分来自早伏桃以及部分伏前桃。

参考文献:

- [1] 孙群, 王建华, 孙宝启. 种子活力的生理和遗传机理研究进展[J]. 中国农业科学, 2007, 40 (1): 48-53. DOI: 10.3321/j.issn: 0578-1752.2007.01.007.
Sun Qun, Wang Jianhua, Sun Baoqi. Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 48-53.
- [2] 李振华, 王建华. 种子活力与萌发的生理与分子机制研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48 (4): 646-660. DOI: 10.3864/j.issn. 0578-1752.2015.04.03.
Li Zhenhua, Wang Jianhua. Advances in research of physiological and molecular mechanism in seed vigor and germination[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(4): 646-660.
- [3] Adam N M, McDonald M B, Henderlong P R. The influence of seed position, planting and harvesting dates on soybean seed quality[J]. Seed Science and Technology, 1989, 17: 143-152.
- [4] 徐亮, 包维楷, 何永华. 种子贮藏物质变化及其贮藏机理[J]. 种子, 2003, 22(5): 60-63.
Xu Liang, Bao Weikai, He Yonghua. Changes of seed storage substances and storage mechanism[J]. Seed, 2003, 22(5): 60-63.
- [5] 闫慧芳, 夏方山, 毛培胜. 种子老化及活力修复研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(3): 20-26. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.2013-1065.
Yan Huifang, Xia Fangshan, Mao Peisheng. Research progress of seed aging and vigor repair[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(3): 20-26.
- [6] 张旺峰, 勾玲, 王振林, 等. 不同生态棉区棉花单铃重的变化及与气象因子的关系研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 872-877.
Zhang Wangfeng, Gou Ling, Wang Zhenlin, et al. Changes of cotton single boll weight at different eco-region and correlation with meteorological factor[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(7): 872-877.
- [7] 张丽娟, 熊宗伟, 陈兵林, 等. 气候条件变化对棉纤维品质的影响[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(2): 79-85. DOI: 10.3969/j.issn. 1004-4574.2006.02.013.
Zhang Lijuan, Xiong Zongwei, Chen Binglin, et al. Sensitivity analysis of cotton fiber quality to climate condition[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(2): 79-85.
- [8] 马富裕, 曹卫星, 李少昆, 等. 棉花纤维品质与气象因子的定量分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2102-2107. DOI: 10.3321/j.issn:1001-9332.2005.11.018.
Ma Fuyue, Cao Weixing, Li Shaokun, et al. Quantitative analysis on the relationships between cotton fiber quality and meteorological factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 2102-2107.
- [9] 王友华, 束红梅, 陈兵林, 等. 不同棉花品种纤维比强度形成的时空差异及其与温度的关系[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3865-3871.
Wang Youhua, Shu Hongmei, Chen Binglin, et al. Temporal-spatial variation of cotton fiber strength of different cultivars and its relationship with temperature[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(11): 3865-3871.
- [10] 夏军, 王远远, 乔霞, 等. 营养元素引发对棉种吸胀期耐冷性和发芽能力的影响 [C]// 中国农学会棉花分会. 中国农学会

- 棉花分会 2017 年年会暨第九次会员代表大会论文汇编. 安阳: 中国棉花杂志社, 2017:117-124.
- Xia Jun, Wang Yuanyuan, Qiao Xia, et al. Effects of nutrient initiation on cold tolerance and germination ability of cotton seed during swelling period[C]//The Cotton Society of the Chinese Association of Agriculture Science Society. Proceedings of the 2017 annual conference and the ninth member congress of the Cotton Society of the Chinese Association of Agriculture Science Society. Anyang, Henan: China Cotton Magazine, 2017:117-124.
- [11] 刘威, 杨峰, 任旭东, 等. EMS 对种子萌发影响的进展[J]. 分子植物育种, 2017, 15(11): 4585-4589.
- Liu Wei, Yang Feng, Ren Xudong, et al. Progress on the effects of ems on seed germination[J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(11): 4585-4589.
- [12] 高燕, 沙红, 赵其波. Zn^{2+} 对老化棉种活力生理生化指标的诱导效果研究[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(7): 1275-1279.
- Gao Yan, Sha Hong, Zhao Qibo. Effect of different concentrations of Zn^{2+} on activity and physiology and biochemistry property of aged cotton seeds[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2015, 52(7): 1275-1279.
- [13] 陈莉, 刘连涛, 马彤彤, 等. 褪黑素对盐胁迫下棉花种子抗氧化酶活性及萌发的影响[J]. 棉花学报, 2019, 31(5): 438-447. DOI: 10.11963/1002-7807.cllcd.20190905.
- Chen Li, Liu Liantao, Ma Tongtong, et al. Effects of melatonin on the antioxidant enzyme activities and seed germination of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under salt-stress conditions[J]. Cotton Science, 2019, 31(5): 438-447.
- [14] 刘瑞显, 张国伟, 杨长琴, 等. 小麦秸秆浸提液和腐解液对棉花种子发芽及幼苗生长的化感效应[J]. 棉花学报, 2016, 28(4): 375-383. DOI: 10.11963/issn.1002-7807.201604009.
- Liu Ruixian, Zhang Guowei, Yang Changqin, et al. Allelopathic effects of wheat straw extract and decomposition liquid on cotton seed germination and seedling growth[J]. Cotton Science, 2016, 28(4): 375-383.
- [15] 闫强, 曾雅青, 王乐然, 等. 不同棉花品种种子活力对低温和人工老化胁迫的反应差异[J]. 棉花学报, 2016, 28(2): 144-151. DOI:10.11963/issn.1002-7807.201602007.
- Yan Qiang, Zeng Yaqing, Wang Leran, et al. Response of seed vigor in different cotton cultivars under low temperature and artificial aging stress[J]. Cotton Science, 2016, 28(2): 144-151.
- [16] 徐敏, 李憬霖, 朱鹤, 等. 棉花种子老化过程中生理生化指标变化比较研究[J]. 种子, 2018, 37(2): 14-18.
- Xu Min, Li Jinglin, Zhu He, et al. Comparative study on physiological and biochemical indexes changes in the aging process of cotton seeds[J]. Seed, 2018, 37(2): 14-18.
- [17] 王志军, 叶春秀, 李有忠, 等. 棉花种子活力劣变的差异蛋白质组学研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(11): 2204-2213. DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.11.2204.
- Wang Zhijun, Ye Chunxiu, Li Youzhong, et al. Differential proteomics analysis of seed deterioration in cotton [J]. Acta Botany Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(11): 2204-2213.
- [18] 张文强, 刘光涛, 刘树海, 等. 不同果位和结铃期对棉花种子活力的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(12): 76-79.
- Zhang Wenqiang, Liu Guangtao, Liu Shuhai, et al. Effects of different boll-setting positions and stages on seed vigor of cotton[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2016, 48(12): 76-79.
- [19] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008.
- Zhang Zhi'an, Chen Zhanyu. The experimental techniques of plant physiology[M]. Changchun: Jilin University Press, 2008.
- [20] 李玲, 李娘辉, 蒋素梅, 等. 植物生理学模块实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- Li Ling, Li Nianhui, Jiang Sumei, et al. Experimental technique of plant physiology module[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [21] 徐敏, 李憬霖, 朱鹤, 等. 不同成熟度棉花种子营养成分与生理生化特征关系研究[J]. 种子, 2018, 37(10): 1-6.
- Xu Min, Li Jinglin, Zhu He, et al. Study on the relationship between nutrient composition and physiological and biochemical characteristics of cotton seed with different maturity[J]. Seed, 2018, 37(10): 1-6.
- [22] El-Maarouf-Bouteau H, Bailly C. Oxidative signaling in seed germination and dormancy[J]. Plant Signaling and Behavior, 2008, 3: 332-341.
- [23] 毛树春, 李亚兵, 董合忠, 等. 中国棉花栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2019: 192.
- Mao Shuchun, Li Yabing, Dong Hezhong, et al. Cotton cultivation in China[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2019: 192.
- [24] 李艳萍, 董岳, 张强, 等. 棉花种子成熟和后熟过程中活力变化规律研究[J]. 种子, 2009, 28(5): 27-30. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4705.2009.05.009.
- Li Yanping, Dong Yue, Zhang Qiang, et al. Study on vigor changes rule during maturation and after-maturation process of cotton seeds[J]. Seed, 2009, 28(5): 27-30.
- [25] 张晓洁, 刘勤红, 隋洁, 等. 棉花种子休眠的影响因素分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(8): 188-190.
- Zhang Xiaojie, Liu Qinrong, Sui Jie, et al. The study on the infection factor of dormancy of cotton seeds[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(8): 188-190.