



# 马铃薯种植 与加工进展

(2005)

• 主编 陈伊里 屈冬玉 •



 哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press

三农书屋

# 马铃薯种植与加工进展

(2005)

主 编 陈伊里 屈冬玉

副主编 王凤义 吕文河

哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书是配合 2005 年马铃薯专业委员会学术年会的召开,汇集了近年来我国从事马铃薯研究的专业人员的最新动态和有关马铃薯产业开发的最新决策及发展思路,同时也是落实中央关于振兴东北老工业基地建设,充分发挥马铃薯产业优势的具体举措之一。

本书是对大专院校、科研单位、生产企业、农业管理部门从事马铃薯研究、生产、开发、推广及广大马铃薯种植户具有指导意义的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

马铃薯种植与加工进展. 2005/陈伊里,屈冬玉主编.  
修订本. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2008. 4  
ISBN 978 - 7 - 81133 - 197 - 4

I. 马… II. ①陈…②屈… III. ①马铃薯—栽培—研究  
②马铃薯—加工—研究 IV. S532

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 042679 号

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451 - 82519328  
传 真 0451 - 82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂  
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16  
印 张 20.25  
字 数 490 千字  
版 次 2008 年 4 月修订  
印 次 2008 年 4 月第 2 次印刷  
定 价 80.00 元  
<http://press.hrbeu.edu.cn>  
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

---

## 编 委

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王凤义 | 卢翠华 | 田兴亚 | 石 瑛 |
| 吕文河 | 肖增宽 | 邸 宏 | 陆忠诚 |
| 陈伊里 | 屈冬玉 | 金黎平 | 秦 昕 |
| 张丽莉 | 张立菲 | 谢开云 |     |

## 写在前面的话

美丽富饶的东北黑土地是我国工业的“老大哥”，也是我国的大粮仓，更是新中国成立之后马铃薯研究开发的重要基地。涌现了像朱明凯、李景华、滕宗璠、李芝芳、孙慧生、崔荣昌、张畅、姜兴亚、张和鸣、张鹤龄、李其文、张洪乃、张业荣、李宝树等老一辈科学家的杰出代表，也养育了像陈伊里、吴国林等一批承先启后的中年代表，更为可喜的是一大批青年科技工作者迅速成长，在各自的领域里崭露头角。科教兴国，东北振兴，人才为本，发展优先。

抚今追昔，老一辈科学家典范永存，展望未来，新一代同路人奋发图强。在新的历史条件下，东北农业的现代化对马铃薯产业和从业人员提出了新的更高的要求。第一，要有全球视野和市场观念，东北是中国的东北，更是东北亚的东北，东北的振兴是全面的、协调的可持续的振兴，现在是举足轻重，未来更是不可替代，发展现代农业，提升马铃薯产业水平，意义独特。立足东亚，面向全国，面向东亚，面向市场，面向未来应该是坚定不移的方向。第二，要有扎实的理论基础、业务知识、艰苦奋斗的精神和正确的科研道德、商业道德。第三，应突出优势培育特色，东北三省和内蒙东部应当成为而且能够成为我国现代化的马铃薯种薯基地、精淀粉和全粉加工基地，薯条加工基地和鲜薯出口基地。第四，以开放的意识向国内外同行学习，以开放促改革，以改革加快发展是东北马铃薯产业发展做强做大的基本思路。任何地区、任何单位、任何个人固步自封不行，一知半解也不行，墨守成规更不行，只有在开放中学习提高，在改革中提升效率和质量，在发展中不断壮大自己，东北的马铃薯产业在未来的亚太地区竞争中一定会形成新优势，创造新辉煌。

这次会议是经过多年后在黑龙江召开的全国性大会，它将为全国同行提供一次难得的学习、参观、交流、合作的机会，让我们共同为东北的振兴、马铃薯产业的发展努力奋斗，为科技进步、农民增收和构建和谐社会做出应有的贡献！

中国作物学会马铃薯专业委员会主任  
屈冬玉于宜昌

# 目 录

|                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 高温胁迫对马铃薯幼苗叶片生理效应的影响 .....         | 任彩虹, 闫桂琴, 郗刚, 张丽萍 ( 1 )             |
| NaCl 胁迫对马铃薯抗氧化系统的影响 .....         | 张瑞玖, 尚国斌, 蒙美莲, 门福义, 郇海龙, 郭俊秀 ( 7 )  |
| 不同生态环境下马铃薯还原糖含量分析 .....           | 张凤军, 张永成, 田丰 ( 12 )                 |
| 不同营养液的使用对马铃薯原原种生产的影响 .....        | 王静钢, 李寿如, 高晶, 邱光若, 刘彦君 ( 17 )       |
| 马铃薯高产施肥措施研究 .....                 | 麻汉林, 郭志平 ( 21 )                     |
| 网棚马铃薯原原种高产栽培技术研究 .....            | 蒙蕊学, 何建栋, 苏林富, 田振荣, 甄继军, 吴贞 ( 24 )  |
| 马铃薯实生种子贮藏寿命研究 .....               | 王培伦, 马伟青, 刘芳 ( 28 )                 |
| 脱毒马铃薯试管薯诱导技术探索 .....              | 宁志珩, 吕国华, 贾晓鹰 ( 31 )                |
| 马铃薯种质资源研究现状与发展对策 .....            | 刘喜才, 张丽娟, 孙邦升, 宋继玲 ( 38 )           |
| 西藏脱毒马铃薯原原种的生产技术探讨 .....           | 何燕, 张海芳, 卓嘎 ( 42 )                  |
| 稻田冬季马铃薯种植与配方施肥 .....              | 高小华 ( 47 )                          |
| 马铃薯杂交实生籽制种技术研究 .....              | 王绍林, 杨继先, 和忠, 王忠华 ( 50 )            |
| 环保节约型马铃薯淀粉生产新技术 .....             | 王彦波 ( 54 )                          |
| 高淀粉加工型马铃薯新品种鄂马铃薯 5 号栽培技术 .....    | 赵乐园, 曾祥茂, 赵迎春, 田祚茂, 王黎明, 李洪胜 ( 57 ) |
| 紫花 851 马铃薯品种在福鼎市种植表现及高产栽培技术 ..... | 陈年镛 ( 59 )                          |
| 晋北高寒区马铃薯标准化栽培技术 .....             | 杨富, 杨如达, 梁秀枝 ( 62 )                 |
| 促进凉山州马铃薯比较优势向竞争优势转化的对策 .....      | 李军 ( 65 )                           |
| 恩施州无公害马铃薯鲜薯产业的发展前景 .....          | 张远学, 沈艳芬, 田恒林, 陈家集, 薛东文 ( 69 )      |
| 陇中半干旱区旱地马铃薯品种比较试验 .....           | 张国君, 高世铭, 陈光荣 ( 72 )                |
| 马铃薯应用外源激素及叶面微肥的增产效果 .....         | 范有君, 闫志山, 杨骥 ( 76 )                 |
| 马铃薯不同品种在不同生态条件下的淀粉含量与淀粉产量 .....   | 梁晶, 石瑛, 刘凯, 宿飞飞, 陈伊里 ( 81 )         |
| 不同药剂对马铃薯早疫病田间防效的比较试验 .....        | 魏秀岩, 宫占元, 李杰, 徐晓东 ( 88 )            |
| 净作条件下毕节地区脱毒马铃薯高产栽培模式研究 .....      | 郑元红, 胡建风, 潘国元, 翟均平, 阮友恒 ( 91 )      |
| 中薯 3 号马铃薯在二季作区的器官生长发育规律 .....     | 赵爱菊, 王 卉, 彭绍峰, 张春强 ( 95 )           |
| 四平地区马铃薯平衡施肥试验结果分析 .....           | 高华援, 石晓华, 刘峰, 王洋, 王喜山 ( 99 )        |
| 马铃薯丝核菌溃疡病及其防治 .....               | 谭宗九, 郝淑芝 ( 105 )                    |
| 渭源县马铃薯种薯基地晚疫病控制对策 .....           | 魏小平, 漆文选 ( 107 )                    |

|                                        |                          |
|----------------------------------------|--------------------------|
| 西和县创新发展马铃薯产业的策略 .....                  | 张兑子,张曦宏 (109)            |
| 马铃薯脱毒试管苗常见的污染问题及防治措施 .....             | 张丽莉 (113)                |
| 定西市马铃薯地膜覆盖覆土高产栽培技术 .....               | 周爱兰,杨新俊,杨维俊 (116)        |
| 马铃薯脱毒种苗大田栽培技术 .....                    | 向新国,黄元勋,徐年声 (120)        |
| 马铃薯克新 18 号的冬种表现及高产栽培技术 .....           | 苏祥坦,赖礼博 (122)            |
| 宁南山区马铃薯坑种高产栽培技术 .....                  | 甄继军,田振荣,蒙蕊学,白建平,吴贞 (125) |
| 宁夏马铃薯脱毒种薯生产现状和发展对策 .....               | 亢建斌 (127)                |
| 定西市马铃薯产业发展现状与对策 .....                  | 王永生 (131)                |
| 四川省达州市马铃薯生产特点及产业化对策 .....              | 赵思毅,王亚军,黄承建 (135)        |
| 优质、抗病马铃薯——晋薯 15 号 .....                |                          |
| ..... 白小东,杜珍,齐海英,杜培兵,范向斌,张永福,王建雄 (138) |                          |
| 马铃薯植株感染 Y 病毒后生理指标变化与抗病性的关系 .....       | 夏平 (140)                 |
| 不同温光条件下马铃薯不同叶位叶 SPAD 值变化规律研究 .....     | 肖关丽,郭华春 (146)            |
| 马铃薯主要生理性状和产量性状相关性的研究 .....             |                          |
| ..... 康朵兰,王惠群,萧浪涛,洪亚辉,童建华 (149)        |                          |
| 旱立停(ASA)在马铃薯上抗旱增产应用效果 .....            |                          |
| ..... 王玲,王彦平,朱玉斌,何建国,杨建勋,杨生祥,海宏科 (154) |                          |
| 牡丹江地区防治马铃薯晚疫病药效试验 .....                | 范书华 (158)                |
| 宁德地区脱毒马铃薯荷兰 7 号试种试验 .....              | 李锋,张永佳 (161)             |
| 马铃薯抗 Y 病毒资源材料的鉴定与筛选 .....              | 牛志敏 (164)                |
| 马铃薯作为生物反应器的研究进展 .....                  | 张春宝,王凤义 (167)            |
| 玉米窄行穿林套种秋马铃薯技术 .....                   | 罗勇,石真彬,王义明 (171)         |
| 宁南山区提高马铃薯产量的几项技术措施 .....               |                          |
| ..... 田振荣,余秀珍,蒙蕊学,王颖,常发明,周晓亚,张琴芳 (174) |                          |
| 马铃薯贮藏保鲜技术 .....                        | 雷发林 (176)                |
| 同薯 20 号马铃薯优质高效栽培技术 .....               |                          |
| ..... 杜培兵,杜珍,白小东,齐海英,张永福,王利琴 (179)     |                          |
| 黑龙江省马铃薯高产栽培技术 .....                    | 解艳华 (182)                |
| 早春塑料大棚马铃薯全膜种植高产栽培技术 .....              | 刘世海 (184)                |
| 德化县马铃薯高产栽培技术 .....                     | 苏玉鹤 (187)                |
| 定西市种植马铃薯八项技术 .....                     | 水清明,杨俊丰 (190)            |
| 陇薯 3 号在湟中县的种植表现及高产栽培技术 .....           | 王建平 (194)                |
| 抢抓发展机遇提升渭源马铃薯种薯产业 .....                | 张平,李永成 (197)             |
| 淮安市马铃薯产业发展现状及对策 .....                  | 刘宣东,何孝卫,罗时玲 (200)        |
| 淀粉及全粉加工型马铃薯新品种陇薯 6 号 .....             | 文国宏 (203)                |
| 马铃薯新品种——冀张薯 8 号 .....                  | 马恢,尹江,张希近 (205)          |
| 适合马铃薯晚疫病菌生长的培养基改良试验 .....              |                          |
| ..... 金光辉,白雅梅,孙秀梅,徐学谱,吕文河 (207)        |                          |

|                                       |                                          |
|---------------------------------------|------------------------------------------|
| 马铃薯早熟品种产量和维生素 C 含量在不同生育阶段的表现 .....    | 赵韦, 白雅梅, 徐学谱, 吕文河 (211)                  |
| 四种植物提取物对马铃薯晚疫病菌的抑制作用 .....            | 闵凡祥, 郭梅, 胡林双, 王晓丹, 魏琪, 董学志, 马纪, 吕军 (214) |
| 二倍体马铃薯在育种中的应用 .....                   | 邱彩玲, 白雅梅, 吕典秋, 魏峭嵘, 吕文河 (219)            |
| 我国马铃薯晚疫病群体结构研究进展 .....                | 雷崇艺 (224)                                |
| 开发夏津县棉花与马铃薯间作技术及建议 .....              | 冉祥春 (228)                                |
| 2006 年固原市马铃薯病害发生情况及原因分析 .....         | 董凤林, 靳军良, 方海军, 马桂艳, 杨晓明, 谢霞, 张刚 (231)    |
| 界首市改进马铃薯传统栽培技术的 11 项措施 .....          | 谢兰光 (233)                                |
| 中薯 3 号马铃薯新品种的引进示范及栽培技术 .....          | 潘永, 赵爱菊, 王卉, 张春强 (236)                   |
| 新疆地区脱毒马铃薯促早熟栽培技术及病虫害防治 .....          | 岳忠海, 唐德贤, 张 驰, 张建国 (239)                 |
| 西吉县绿色马铃薯标准化栽培技术规程 .....               | 马尚明 (243)                                |
| 广西马铃薯产业的优势及发展对策 .....                 | 谭仕彦, 韦文科 (246)                           |
| 抗青枯病高产优质马铃薯新品种“抗青 9-1” .....          | 何礼远 (251)                                |
| 芜菁对马铃薯危害特点及防治研究 .....                 | 孙慧生, 卢志俊, 王志强 (254)                      |
| 吉林省马铃薯生产现状及发展对策 .....                 | 刘峰, 张宇航, 程宝忠 (257)                       |
| 马铃薯卷叶病毒 CP 基因的 RT-PCR 扩增 .....        | 何心凤, 郭宝太, 李广存, 杨 煜, 王晓杰, 毕玉平 (260)       |
| 马铃薯软腐病菌的 16SrDNA PCR 检测 .....         | 王敏, 张茹 (264)                             |
| 马铃薯叶面喷施植物生长调节剂对植株和产量的影响 .....         | 申惠波 (267)                                |
| 不同采收期对春马铃薯产量、病薯和虫伤薯影响的比较试验 .....      | 文范纯 (270)                                |
| 沼肥与有机肥和化肥在马铃薯生产中的配合施用试验 .....         | 李裕荣, 董颖苹, 曹文才, 肖昌智, 汪天寿, 杨晓容 (273)       |
| 我国马铃薯种质资源研究现状与育种方法 .....              | 张丽莉, 宿飞飞, 陈伊里, 卢翠华, 程海民 (277)            |
| 塑料大棚脱毒马铃薯原原种生产规范 .....                | 傅兴荣 (282)                                |
| 鄂马铃薯 5 号应用价值分析与推广前景 .....             | 王 璞, 黄大恩, 田祚茂, 李卫东, 戴清堂, 郭光耀, 向常青 (286)  |
| 沿黄高扬程灌区菜用型无公害马铃薯早熟栽培技术 .....          | 李谋智 (289)                                |
| 秋马铃薯——豌豆耕作模式效益及栽培技术 .....             | 张贵景, 苏玉鹤 (292)                           |
| “紫花 851”马铃薯特征特性及高产栽培技术 .....          | 邱秀丽 (295)                                |
| 高要市冬季马铃薯生产中存在的问题及解决对策 .....           | 叶 民, 池超伦 (297)                           |
| 青海省互助县马铃薯产业现状及其发展策略 .....             | 周生坛 (300)                                |
| 马铃薯品种遗传多样性的 RAPD 和 AFLP 标记分析 .....    | 李凤云, 盛万民, 刘昭军, 田国奎, 李庆全, 王立春 (303)       |
| $\beta$ -氨基丁酸诱导马铃薯叶片晚疫病抗性适宜浓度筛选 ..... | 李亚军, 田振东, 柳俊, 谢从华 (310)                  |

# 高温胁迫对马铃薯幼苗叶片生理效应的影响

任彩虹<sup>1</sup>, 闫桂琴<sup>1</sup>, 郜 刚<sup>1,2</sup>, 张丽萍<sup>1</sup>

( 1. 山西师范大学生命科学学院生物多样性研究所, 山西 临汾 041004;

2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081 )

**摘 要:** 以中薯3号为材料, 研究了高温胁迫对马铃薯幼苗叶片膜脂过氧化、体内保护系统以及叶绿素含量等生理效应的影响。结果表明, 在高温胁迫下, 叶片中叶绿素和抗坏血酸含量下降, 超氧阴离子自由基 ( $O_2^{\cdot-}$ )、丙二醛 (MDA) 含量、脯氨酸含量上升; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性呈现出先升后降的变化趋势, 而多酚氧化酶 (PPO) 活性却一直呈上升趋势。说明高温逆境降低了植物体防御活性氧有关的酶促和非酶促保护系统的能力, 提高了体内自由基浓度, 加剧了膜脂过氧化。由此认为高温胁迫下马铃薯幼苗体内抗氧化酶活性受到抑制, 活性氧积累以及由此引起的膜脂过氧化是马铃薯幼苗高温伤害的原因之一。

**关键词:** 高温胁迫; 马铃薯; 生理效应; 膜脂过氧化; 体内保护系统

植物在高温胁迫下, 体内活性氧代谢失调和自由基积累, 引起生理代谢的紊乱, 导致细胞结构受损。植物体内同时存在两类保护系统, 一类是酶类物质, 如 SOD, CAT, APX 以及 PPO 等; 另一类是非酶类化合物, 如抗坏血酸 (AsA)、脯氨酸 (Pro) 以及高温诱导产生的一系列蛋白质等。它们能够在一定范围内及时清除过多的活性氧以维持体内自由基代谢的动态平衡, 降低膜脂过氧化, 保护膜系统的稳定性, 提高植物的抗热性。大量研究表明, 植物在高温胁迫下, 体内产生大量的活性氧和氧自由基, 最终导致膜的结构受到破坏, 而使得植株受到伤害。

马铃薯是喜冷凉的蔬菜品种, 在夏季高温多雨期不能正常生长。为考查马铃薯品种中薯3号的耐热性, 本文研究了高温胁迫下马铃薯叶片超氧阴离子 ( $O_2^{\cdot-}$ )、丙二醛 (MDA)、叶绿素 (Chl)、脯氨酸 (Pro) 和抗坏血酸 (AsA) 的含量以及 SOD, PPO 酶活性的变化规律, 旨在探讨高温胁迫对马铃薯幼苗膜脂过氧化和体内保护系统以及叶绿素含量的影响, 为生产实践中降低高温对马铃薯的伤害而提高产量等提供一些科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

中薯3号是京丰1号 × BF67A 的产物, 由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供。马铃薯块茎在口径 15 cm 的花盆中以无土栽培法 (草炭和蛭石按照 1:1 混匀) 培养, 每盆 2 株, 在自然温光条件下培养至株高 15 cm 左右, 移至光照强度 3 000 lx 的恒温光照培养箱分别进行 2 种不同温度处理: (1) 20 ℃ 培养作为对照; (2) 30 ℃ 高温处理 12 h, 并且每隔 1 h 处理取样, 液氮冷冻, -80 ℃ 低温保存以测定生理指标。

作者简介: 任彩虹 (1982 - ), 女, 硕士研究生, 主要从事马铃薯分子生态学研究。

## 1.2 测定方法与数据统计

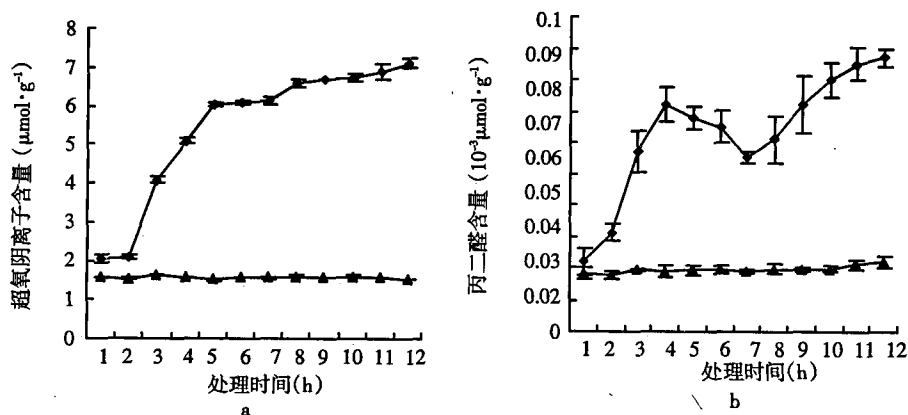
$O_2^-$  含量测定采用羟胺氧化法, MDA 含量用硫代巴比妥法, Pro 含量测定采用酸性茚三酮比色法, AsA 含量采用二甲苯萃取比色法, SOD 活性采用 NBT 光还原法, PPO 活性测定采用邻苯二酚法, Chl 含量用丙酮比色法测定。以上试验均重复 3 次, 取 3 次试验结果的平均值进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 $O_2^-$ 和 MDA 含量随胁迫时间的变化

$O_2^-$  是生物体受到胁迫后首先生成的氧自由基, 可以经过一系列反应而生成其它氧自由基, 参与启动膜脂过氧化或者膜脂脱脂作用是其伤害植物的机理之一。在高温胁迫 2 h 内, 马铃薯幼苗叶片中  $O_2^-$  含量与对照相比变化不大, 在 3~5 h 范围内直线上升, 5 h 以后缓慢上升 (图 1-a)。这与各种酶活性逐渐降低, 对活性氧的清除作用消弱有关。

图 1-b 表明, 在高温胁迫 0~4 h 范围内, MDA 含量直线上升, 随后的 3 个小时内持续下降, 表明马铃薯幼苗处于高温环境中一段时间, 对高温有了一定的适应能力, 所以出现了一个下降的趋势, 从胁迫第 7 个小时开始继续缓慢上升。MDA 是膜脂过氧化过程中的脱脂产物, 它的含量可用来度量膜脂的过氧化程度。膜脂过氧化反应可由酶促诱发, 但更主要的是由氧自由基启动。因此, MDA 的积累在一定程度上反应了体内自由基活动的状态, MDA 积累多,  $O_2^-$  等自由基的水平也高。



图中(▲)代表对照,(◆)代表高温处理(下同)。

图 1 高温胁迫对  $O_2^-$  和 MDA 含量的影响

### 2.2 叶片 AsA, Pro 含量随胁迫时间的变化

抗坏血酸是植物体内重要的抗氧化剂, 可以快速还原超氧阴离子自由基和羟基自由

基,清除损伤膜和酶分子结构中的自由基,防御活性氧的毒害。由图2可见,马铃薯幼苗叶片的AsA含量随着胁迫时间延长而直线下降。以正常温度下的数值100%计算,高温胁迫12 h,AsA含量下降了63%。

由图2-b可见,高温促进马铃薯幼苗叶片中脯氨酸的积累,随着胁迫时间的延长,脯氨酸含量逐渐增加。脯氨酸含量在胁迫0~4 h之间有一个较大幅度的上升,4~6 h内回落,6 h以后又逐步上升,但幅度不大。

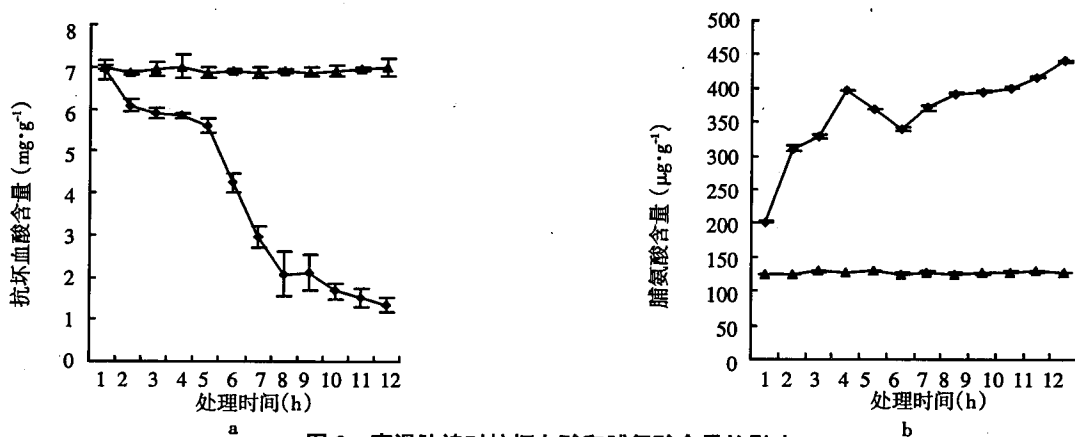


图2 高温胁迫对抗坏血酸和脯氨酸含量的影响

### 2.3 保护酶活性随胁迫时间的变化

在高温下,由于活性氧代谢平衡受到破坏,活性氧的增加对植物起到伤害作用。植株体内抗氧化酶SOD, CAT, PPO等清除植物体内过多的活性氧,使得植株能够免受或者少受活性氧的伤害,因此它们是植物重要的耐热保护酶系统。

从图3-a可以看出,马铃薯幼苗叶片SOD活性随胁迫时间的延长而呈现先上升后下降的趋势,至胁迫12 h, SOD酶活性下降了36%。但是,马铃薯幼苗叶片PPO活性却随着胁迫时间的延长而持续上升,如图3-b所示。

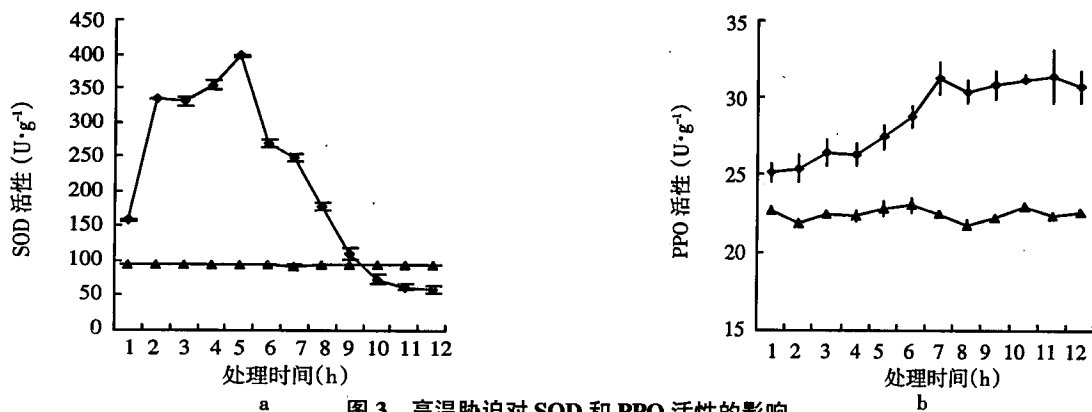


图3 高温胁迫对SOD和PPO活性的影响

## 2.4 叶绿素含量随胁迫时间的变化

高温胁迫能够加剧叶绿体的降解并且抑制其合成, 因此叶绿素含量的变化能够反应高温对植物的伤害程度。在本试验中, 随着高温处理时间的延长, 马铃薯幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量和类胡萝卜素的含量都持续下降, 如图 4-a, b, c, d 所示。在高温处理 12 h 时, 叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量以及类胡萝卜素含量较对照分别下降了 40.4%, 45.27%, 41.40% 及 50.49%, 变化规律一致。

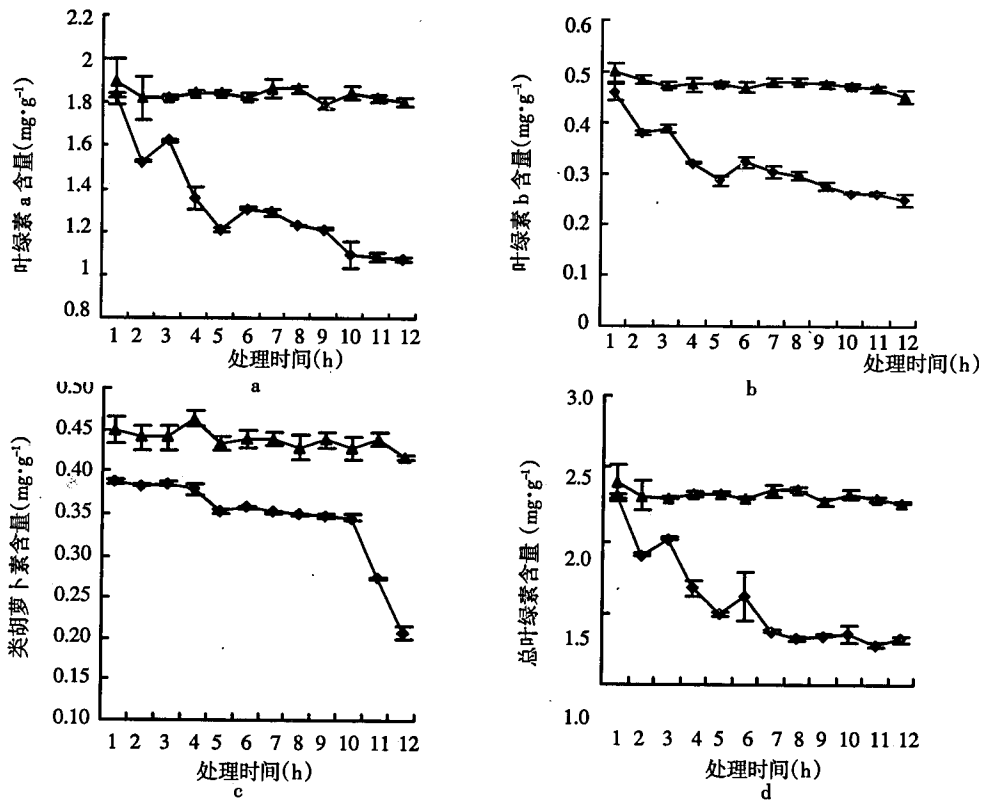


图 4 高温胁迫对叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

## 3 讨 论

植物对高温逆境的反应涉及到体内一系列生理效应的变化。本研究发现, 随着高温胁迫时间的延长, 马铃薯幼苗叶片的叶绿素和内源抗氧化剂抗坏血酸含量减少,  $\text{O}_2^-$ , MDA 以及脯氨酸含量增加, 保护酶活性发生改变, SOD 活性呈现出先升高后降低的变化趋势, 而 PPO 活性则持续上升。细胞内清除活性氧的酶促和非酶促保护系统受到破坏, 最终导致植物受到毒害, 甚至死亡。

### 3.1 叶片膜脂过氧化与高温胁迫的关系

植物受到逆境伤害的关键部位是生物膜系统。大量研究证明,植物处于逆境条件下细胞内自由基积累,并且由此引发或加剧膜脂过氧化作用,导致细胞膜损伤和破坏。本试验结果表明,随着高温胁迫时间延长, $O_2^-$ 含量持续上升,细胞内活性氧代谢平衡受到破坏,活性氧过剩导致膜脂过氧化作用的引发或者加剧,使得膜系统受损。

MDA 是膜脂氧化的主要产物之一,它的含量高低是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标之一。在高温胁迫前期,MDA 含量急剧上升,说明马铃薯幼苗在受到胁迫的初期,机体本身代谢功能特别是保护酶系统的调节突然失去平衡,导致活性氧产生过剩,引起膜脂上不饱和脂肪酸的过氧化,使膜脂组份发生改变,进而改变膜透性、膜脂流动性及膜结合酶活力,膜脂过氧化作用加强。随后可能是体内一些蛋白质的调节,使得体内保护酶的活性趋于稳定而不再急剧下降,对高温有了一定的适应能力,从而 MDA 含量也不再急剧上升而开始缓慢下降。但随着胁迫时间延长,膜脂过氧化作用加强,使得 MDA 含量继续呈现上升的趋势。此外,丙二醛还能与细胞内的核酸和蛋白质等生物大分子发生反应,生成 Schiff 碱,进一步损伤细胞的生物膜。同时,许多学者研究认为,膜脂过氧化还能影响植物的光合作用和呼吸作用,使光合作用和呼吸作用中的电子传递发生一定的改变,从而导致大量活性氧自由基的产生,进一步引起膜脂过氧化。

### 3.2 叶片 AsA, Pro 含量与高温胁迫的关系

细胞内 ASA 的含量高有利于生物体抵抗不良环境。试验结果表明,与对照相比,在胁迫期间,AsA 含量呈现下降的趋势。AsA 作为非酶促的抗氧化物质参与清除自由基,排除过氧化物,淬灭活性氧和保护 SH 基。高温胁迫使得马铃薯幼苗叶片细胞膜受到伤害,正常的防御系统受到破坏,膜脂发生过氧化作用,体内积累大量的自由基,与抗坏血酸反应以保护细胞膜结构的完整性,从而使体内抗坏血酸含量降低。

到目前为止大量的证据表明,脯氨酸累积有多种生理意义,如作为细胞质渗透调节物质、稳定生物大分子结构、清除活性氧的作用。逆境胁迫作用于植物时,往往造成水分胁迫,高温时植物因强烈的蒸腾作用失水,游离脯氨酸大量积累。可能由于脯氨酸的水合能力较强,作为溶质,可以调节细胞水分环境的变化。并且,积累的脯氨酸可以作为胁迫时能量和氮源的贮存库,解除胁迫后直接参与植物的代谢。植物体内脯氨酸含量在一定程度上反映了植物的抗逆性。

### 3.3 叶片保护系统酶类活性与高温胁迫的关系

植物在逆境胁迫下,产生过多的自由基,从而引起氧化胁迫,导致膜脂过氧化、蛋白质构型改变、DNA 断裂、叶绿素含量减少、离子渗漏、直至细胞死亡。植物本身在进化过程中形成了防御活性氧毒害的机制,体内抗氧化系统是决定植物细胞对氧化胁迫抗性的关键因素,它能清除体内活性氧和膜脂过氧化所产生的有毒物质,以利于植物在逆境中的生存。如 SOD, CAT, APX 等是抗氧化系统中酶促系统中重要的保护酶,它们在高温胁迫下的作用已经得到了证实。SOD 能够以  $O_2^-$  作为基质进行歧化反应,是防护氧自由基对细胞

膜系统伤害的一种很重要的保护酶。CAT 能够分解植物体内由于光呼吸形成的过多的  $H_2O_2$ ，来防御对细胞的伤害，保护膜的结构。APX 目前被认为是叶绿体内清除  $H_2O_2$  的关键酶，通过 AsA - 谷胱甘肽 - NADPH 循环，催化 AsA 氧化，来清除叶绿体中  $H_2O_2$  和  $O_2^-$  以维持植物体内的活性氧代谢平衡，而在一定程度上减缓或者抵抗逆境胁迫。

试验结果表明，在高温胁迫初期，马铃薯幼苗叶片 SOD 酶活性随时间的延长而逐步上升，即诱导酶活性大幅增高，可能是由于高温胁迫马铃薯幼苗后，通过一系列代谢反应产生了对自身有害的超氧自由基和  $H_2O_2$ （酶底物），从而诱导它们的表达，以清除体内的  $H_2O_2$  及有机过氧化产物，防止  $H_2O_2$  在体内积累，限制潜在的活性氧伤害，维持细胞的正常生理机能，这是植株的保护性应激反应。但抗氧化酶的防御能力是有限的，在胁迫后期，酶活性随时间的进一步延长而降低，这可能是由于高温胁迫逐渐超过植物所能够承受的极限时，破坏酶的活性中心，通过改变酶的结构或抑制酶的表达，使得酶活性下降，导致  $H_2O_2$  和其它过氧化物清除过程受阻而大量积累，进一步对马铃薯植株造成损伤。而 PPO 活性随着胁迫时间延长不断上升，与 SOD 酶活性变化完全不同。这两种重要的抗氧化酶适应高温胁迫的特点不同，对高温胁迫的反应有一定的差异。

### 3.4 叶绿素含量与高温胁迫的关系

高温胁迫使得马铃薯幼苗叶片叶绿素含量明显下降，使得叶片光合速率显著降低，最终导致叶片发黄。其原因可能有三方面，一是叶绿素的合成是在前质体或叶绿体中在一系列酶的作用下形成的，高温胁迫可能通过影响叶绿素合成相关的酶类（如  $Mg^{2+}$  螯合酶、叶绿素合成酶等）进而抑制叶片中叶绿素的合成，二是高温胁迫引起活性氧的积累，加速了叶绿素的降解，造成叶片中叶绿素含量的降低。叶片中叶绿素含量的降低必定导致对光能的吸收能力下降，进而引起光合速率的降低，抑制光合产物的形成。类胡萝卜素既是光合色素，又是细胞内源抗氧化剂，一方面吸收光能并且传递给反应中心，补偿由于叶绿素减少而造成的光合作用的下降，另一方面可以吸收剩余能量，淬灭活性氧，防止膜脂过氧化。因此，类胡萝卜素的减少也是叶绿素含量下降的原因之一。

以上结果表明，高温胁迫对马铃薯幼苗保护系统有一定的影响。在胁迫初期，马铃薯幼苗抗氧化酶活性和一些非酶物质含量都升高，这可能是马铃薯通过自身调节机制适应胁迫的本能。在逆境初期体内活性氧积累，诱发体内活性氧清除酶活性的增加，相互协调以清除过多的活性氧对细胞的伤害，此时 MDA 含量处于较低水平。但由于保护酶和其它物质对膜系统的保护作用是有其一定限度的，在胁迫时间延长后，部分抗氧化酶活性和抗氧化物质的合成和构型造成不可逆的损伤，含量下降，清除活性氧的能力随之下降，细胞的膜脂过氧化作用加强，表现为 MDA 含量的增加。表明马铃薯幼苗自身的调节机制已经减弱，保护系统失调，马铃薯幼苗受高温伤害的程度加大。活性氧自身的生成与清除的平衡被破坏而使得代谢失调是马铃薯幼苗受到高温伤害的重要原因。

# NaCl 胁迫对马铃薯抗氧化系统的影响

张瑞玖<sup>1</sup>, 尚国斌<sup>2</sup>, 蒙美莲<sup>1</sup>, 门福义<sup>1</sup>, 郇海龙<sup>1</sup>, 郭俊秀<sup>1</sup>

( 1. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010019;

2. 内蒙古武川县财政局, 内蒙古 武川 011700 )

**摘 要:**以紫花白、大西洋、克新 12 号 3 个马铃薯品种为试验材料, 研究了 NaCl 胁迫下其体内过氧化物酶活性、超氧化物歧化酶活性和过氧化物酶同工酶的变化。结果表明: 随着 NaCl 胁迫浓度的增加, 马铃薯 3 个品种过氧化物酶活性均表现为随 NaCl 浓度的增加先下降后上升, 而超氧化物歧化酶活性表现为随 NaCl 浓度的增加先降低, 再升高, 然后再降低的变化规律。但是, 3 个品种两种酶的变化幅度却不相同。克新 12 号在 0.3% 和 0.45% NaCl 浓度下两种酶的活性均迅速上升, 且在 0.45% 浓度下显著的高于对照; 紫花白在 NaCl 胁迫下两种酶活性变化较平稳, 和对照差异不显著; 大西洋在不同 NaCl 浓度下两种酶的活性均低于对照, 且过氧化物酶活性在 0.30% 和 0.45% 的 NaCl 浓度下显著的低于对照; 克新 12 号和紫花白在较高的 NaCl 浓度下过氧化物酶同工酶谱带较深, 大西洋则随 NaCl 浓度的升高同工酶谱带的颜色变浅, 同时, 耐盐品种克新 12 号和紫花白在 B 区均诱导出了一条明亮的谱带。

**关键词:**马铃薯; NaCl 胁迫; 过氧化物酶; 超氧化物歧化酶

近年来, 随着工业污染加剧、灌溉农业的发展和化肥使用不当等原因, 盐碱化土壤面积不断增加, 这严重影响了农业生产。因此, 对植物抗盐碱的研究引起了人们的极大关注。自 Mccord 和 Fridovich 提出生物自由基伤害学说以来, 人们广泛地开展了应用自由基伤害学观点来研究逆境对植物代谢调节的影响。大量研究表明, 在逆境条件下植物体内会产生超氧自由基、过氧化氢和单线态氧等活性氧自由基, 使植物膜系统受到伤害, 同时植物为保护自身免受伤害形成了一整套相应的抗氧化保护系统。超氧化物歧化酶、过氧化物酶是这一系统中重要的组成部分, 在逆境胁迫条件下, SOD 和 POD 活性的变化可以反映细胞清除活性氧的能力, 因而这两种酶在植物的抗逆研究中颇受重视, 在许多植物上均有报道。但是, 马铃薯在逆境条件下抗氧化酶系统的变化研究还较少报道。因此, 本试验通过对盐胁迫下马铃薯不同品种抗氧化酶活性及过氧化物酶同工酶谱带的研究, 探讨抗氧化酶系统与马铃薯盐害及耐盐性的关系, 为马铃薯耐盐机理的研究及耐盐突变体的筛选提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

马铃薯克新 12 号、紫花白、大西洋 3 个品种的脱毒苗。由内蒙古正丰马铃薯种业公司提供。每 20 d 在 MS 基本培养基上继代繁殖一次。

作者简介: 张瑞玖 (1981 -), 男, 硕士研究生, 主要从事马铃薯栽培生理研究。

## 1.2 试验处理及方法

试验设 0, 0.15%, 0.30%, 0.45% 4 个 NaCl 浓度, 将不同浓度的 NaCl 分别添加到 MS + 6 mg · L<sup>-1</sup> B9 + 3% 蔗糖 + 0.4% 卡拉胶的培养基中, 形成不同 NaCl 浓度的胁迫培养基。将继代培养的脱毒苗按单节茎切段转移到含有不同 NaCl 浓度的胁迫培养基中进行培养。培养瓶直径为 6.5 cm, 内装 50 mL 胁迫培养基, 每瓶接入 30 个茎段, 每个处理 5 瓶, 重复 3 次。培养温度 (25 ± 1) °C, 光强 2 000 lx, 每天光照 12 h。

处理 30 d 时取正常叶片测定 SOD 活性, POD 活性与过氧化物酶同工酶。

## 1.3 各项指标的测定方法

### 1.3.1 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定

参照现代植物生理学实验指南。

### 1.3.2 过氧化物酶 (POD) 活性的测定

参照陈建勋和王晓峰的方法。

### 1.3.3 过氧化物酶同工酶测定

参照张志良的方法, 采用聚丙烯酰胺凝胶电泳法。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对马铃薯 POD 活性的影响

由图 1 可见, 马铃薯品种间随着 NaCl 胁迫浓度的增加过氧化物酶活性存在差异, 表现为大西洋 > 紫花白 > 克新 12 号。马铃薯 3 个品种过氧化物酶活性变化趋势相似, 均是先下降后上升。但是, 3 品种间过氧化物酶活性开始上升的 NaCl 浓度和上升幅度却并不相同。紫花白和大西洋 2 品种随 NaCl 浓度的升高, 过氧化物酶活性逐渐下降, 在 NaCl 浓度为 0.30% 时达到最低点, 随后活性又开始上升。紫花白品种上升的幅度较大, 且在 NaCl 浓度为 0.45% 时达到了其活性的最高点, 但与对照比差异不显著。而大西洋上升的幅度较小, 其活性始终低于对照, 且在 0.30% 和 0.45% 的 NaCl 浓度下显著地 ( $P < 0.05$ ) 低于对照。与紫花白和大西洋相比, 克新 12 号过氧化物酶活性开始增加的 NaCl 浓度低, 而且增加幅度大, 从 0.15% 的 NaCl 浓度开始, 其活性直线上升, 当 NaCl 浓度为 0.45% 时达到了最高点, 且较对照增加了 1.5 倍。

表 1 结果表明, 过氧化物酶的活性在品种间和品种与处理互作间差异极显著。在同一品种的不同 NaCl 浓度处理间过氧化物酶的活性存在显著的差异。

### 2.2 NaCl 胁迫对马铃薯 SOD 活性的影响

由图 2 可见, 不同 NaCl 浓度胁迫下马铃薯 3 品种超氧化物歧化酶活性大小始终表现为克新 12 号 > 紫花白 > 大西洋。随 NaCl 胁迫浓度的增加 3 品种超氧化物歧化酶活性均表

表 1 过氧化物酶活性方差分析

| 变异来源  | DF | SS    | MS   | F       | F <sub>0.05</sub> | F <sub>0.01</sub> |
|-------|----|-------|------|---------|-------------------|-------------------|
| 品种间   | 2  | 10.31 | 5.15 | 82.14** | 3.89              | 6.93              |
| 处理间   | 3  | 1.09  | 0.36 | 5.78*   | 3.49              | 5.95              |
| 品种×处理 | 6  | 3.24  | 0.54 | 8.60**  | 3.00              | 4.82              |
| 试验误差  | 12 | 0.69  | 0.06 |         |                   |                   |
| 总变异   | 23 | 15.46 |      |         |                   |                   |

注:\*表示差异显著;\*\*表示差异极显著;下同。

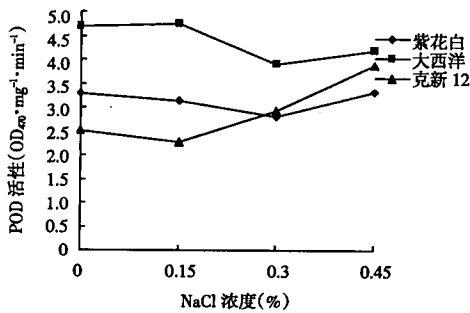


图 1 NaCl 胁迫下马铃薯 POD 活性变化

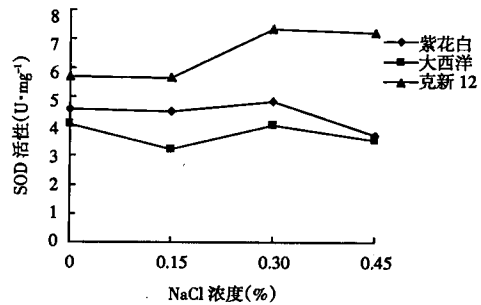


图 2 NaCl 胁迫下马铃薯 SOD 活性变化

现为先降低,再升高,然后再降低的变化规律。但是,3个品种变化幅度不同,克新12号品种在0.30%和0.45%的盐浓度下超氧化物歧化酶活性均显著( $P < 0.05$ )高于对照。紫花白随NaCl浓度的升高其酶的活性保持在一个较稳定的水平上,当NaCl浓度达到0.45%时其活性迅速下降,但与对照相比差异不显著。大西洋在NaCl浓度达到0.15%时酶的活性就大幅度下降,之后虽然在0.30%盐浓度下酶的活性有一定增加,但仍低于对照,当NaCl浓度继续增加时,其酶的活性又迅速下降,但在不同的NaCl浓度下差异不显著。

由表2可见,品种间超氧化物歧化酶的活性存在极显著差异。试验处理间及处理与品种互作间超氧化物歧化酶的活性存在显著差异。

表 2 超氧化物歧化酶活性方差分析

| 变异来源  | DF | SS    | MS    | F       | F <sub>0.05</sub> | F <sub>0.01</sub> |
|-------|----|-------|-------|---------|-------------------|-------------------|
| 品种间   | 2  | 33.52 | 16.78 | 63.44** | 3.89              | 6.93              |
| 处理间   | 3  | 2.81  | 0.94  | 3.54*   | 3.49              | 5.95              |
| 品种×处理 | 6  | 4.78  | 0.80  | 3.01*   | 3.00              | 4.82              |
| 试验误差  | 12 | 2.91  | 0.27  |         |                   |                   |
| 总变异   | 23 | 44.04 |       |         |                   |                   |

注:\*表示差异显著;\*\*表示差异极显著(下同)。