

蒸煮过程中稻米糊化的形态学观察

潘婷, 赵凌霄, 韦存虚 (扬州大学生物科学与技术学院, 江苏扬州 225009)

摘要 [目的] 阐明蒸煮过程中稻米的形态变化。[方法] 利用树脂半薄切片法, 将蒸煮过程中稻米整粒包埋切片, 碘染色观察稻米形态的变化。[结果] 稻米糊化从外围向内部进行, 糯性稻米糊化较快。糊化过程中, 淀粉粒体积增加, 直链淀粉溢出, 淀粉粒逐渐失去颗粒形态而相互粘连在一起。[结论] 淀粉粒形态的变化可以反映稻米的糊化。

关键词 稻米; 蒸煮; 淀粉粒; 形态变化

中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)21-003-04

Morphological Observation of Milled Rice during Cooking Process

PAN Ting, ZHAO Ling-xiao, WEI Cun-xu (College of Bioscience and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract [Objective] To reveal the morphological variation of milled rice during cooking process. [Method] The whole milled rice was embedded with resin during cooking process. The embed block was sectioned with semithin section method and stained with iodine. The morphological variation of milled rice was observed. [Result] The milled rice was gelatinized from the outer region to the inner region of grain. The waxy rice was quickly gelatinized. The volume of starch granule increased, the amylose was leached, and starch granules gradually lost their granule morphology and adhered together during cooking process. [Conclusion] The morphological variation of starch granule might indicate the gelatinization of milled rice.

Key words Milled rice; Cooking; Starch granule; Morphological variation

稻米经过蒸煮糊化后供人们食用, 蒸煮稻米的形态结构与米饭的品质有着直接和紧密的联系。国内外关于稻米的蒸煮糊化已做过较多的研究。Tamura 等^[1]利用石蜡切片法对蒸煮过程中稻米组织结构的改变进行了研究, 发现细胞壁是影响稻米糊化后质地相关特性的重要因素。Ogawa 等^[2]利用扫描电镜观察和分析了蒸煮稻米出现的裂缝, 认为这些裂缝是蒸煮过程中水分进入米粒的通道。Lu 等^[3]研究了直链淀粉含量对蒸煮稻米结构和质地的影响, 发现蒸煮稻米的质地特性主要受直链/支链淀粉含量比值的影响。前人虽然对稻米蒸煮过程中籽粒形态结构变化进行了研究, 但主要利用石蜡切片法。虽然石蜡切片法能够观察细胞形态结构, 但无法观察胚乳细胞内淀粉的糊化过程。笔者建立了谷类作物种子整粒树脂包埋半薄切片法, 研究了稻米蒸煮糊化过程中的形态变化, 旨在为稻米蒸煮品质的评价和利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料 选取广陵香糯 (Guang - ling - xiang - nuo, GLXN, 直链淀粉含量 0.1% ~ 0.2%)、武香 9915 (Wu - xiang, WX, 直链淀粉含量 15.2% ~ 16.8%) 和特青 (Te - qing, TQ, 直链淀粉含量 26.1% ~ 28.1%) 3 种不同直链淀粉含量的水稻品种为材料^[4]。水稻种植在扬州大学试验田, 按常规栽培方法进行种植和管理, 成熟籽粒脱壳去糙获得精米供试验用。

1.2 方法

1.2.1 稻米蒸煮方法 将 10 粒整精米放入试管中, 用 5 mL 去离子水中室温浸泡 1 h, 在沸水浴中煮 5 ~ 30 min, 然后冷却至室温, 将水倒出, 将稻米放置在滤纸上吸干多余水分, 转

移至 2.5% 戊二醛中固定过夜, 4℃ 保存。

1.2.2 稻米树脂包埋和切片 参考杨洋^[5]的水稻种子整体 LR white 树脂包埋法对样品进行固定、脱水、树脂渗透和包埋, 获得样品包埋块。包埋块在莱卡超薄切片机上利用玻璃刀切取 2 μm 厚的半薄切片, 切片粘于载玻片上。

1.2.3 切片染色和拍照 利用碘液对样品中的淀粉进行染色。将染色后的样品置于奥林巴斯显微镜下观察和拍照。

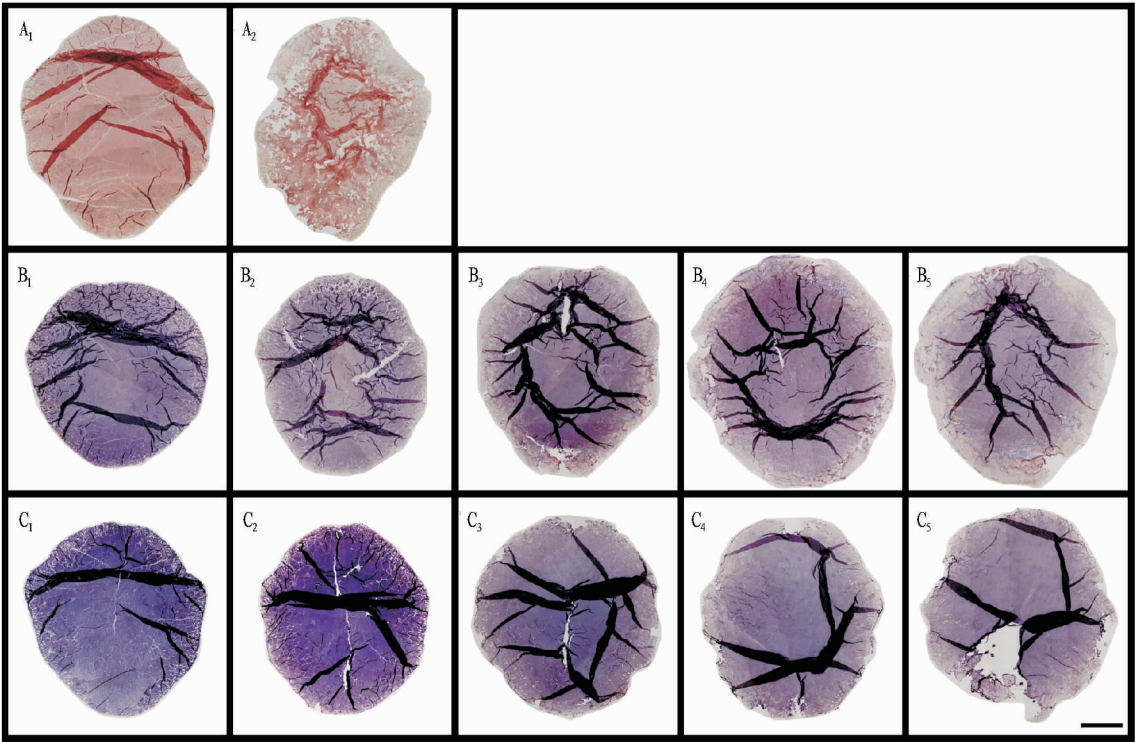
2 结果与分析

2.1 稻米糊化过程观察 为了研究水稻精米在沸水浴中糊化不同时间形态的变化, 将糊化不同阶段的精米整粒固定和树脂包埋, 精米中部完整横切, 碘染色观察结果见图 1。一般稻米的糊化即淀粉粒受热后晶体破坏, 形态发生改变, 淀粉粒内直链淀粉溢出。根据淀粉粒形态和碘染色情况, 借助整体切片, 可以分析稻米的糊化过程。广陵香糯稻米淀粉为糯性淀粉, 直链淀粉含量接近 0, 所以未糊化稻米整粒切片碘染色呈均匀的粉红色 (图 1-A1)。沸水浴煮 5 min 后, 切片碘染色变浅, 外围细胞结构破坏较严重 (图 1-A2)。沸水浴煮 10 min, 广陵香糯稻米已完全糊化, 稻米整粒破坏较大, 无法获得完整稻米的整粒切片。武香 9915 和特青稻米沸水浴煮不同时间的整粒切片碘染色结果 (图 1-B 和 1-C) 显示, 根据碘染色的深浅, 稻米的糊化从外围开始逐步向中部进行, 沸水浴煮 20 min 稻米糊化基本完成。Chung 等^[6]认为糯稻淀粉主要由晶体区域组成, 只需要很少的能量就可以开始融化, 而普通水稻淀粉由直链淀粉和支链淀粉混合组成, 这就需要更多的能量来融化。因此, 广陵香糯淀粉沸水浴煮 5 min, 稻米糊化就基本完成, 而武香 9915 和特青稻米沸水浴煮 20 min 糊化才基本完成。

基金项目 国家自然科学基金面上项目 (31270221)。

作者简介 潘婷 (1992 -), 女, 江苏苏州人, 硕士研究生, 研究方向: 谷类作物淀粉发育和特性。

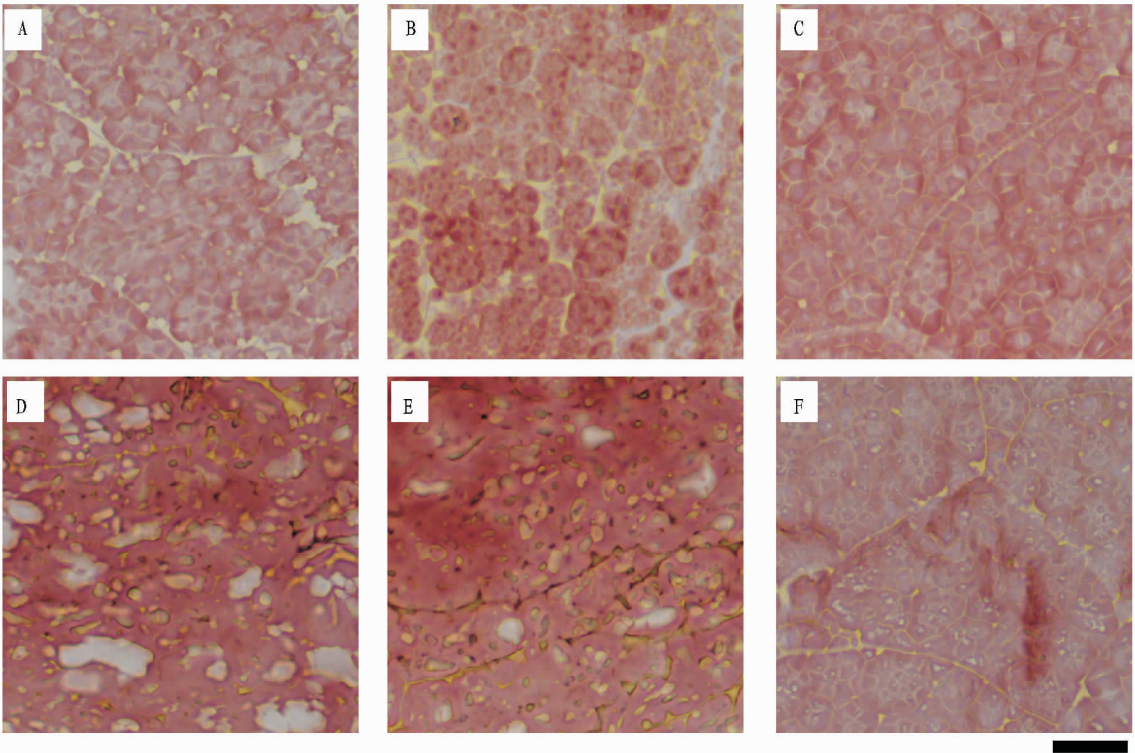
收稿日期 2016-06-03



注:A. 广陵香糯;B. 武香 9915; C. 特青;1. 糊化 0 min; 2. 糊化 5 min; 3. 糊化 10 min; 4. 糊化 15 min;5. 糊化 20 min. 标尺 = 500 μm 。
Note: A. GLXN; B. WX 9915; C. TQ; 1,2,3,4,5. The gelatinization time for 0,5,10,15 and 20 min; Scale bar = 500 μm .

图 1 稻米糊化过程中籽粒中部横切碘染色结果

Fig.1 The results of iodine-stained transverse section at the midregion of milled rice during cooking



注:A ~ C. 糊化 0 min; D ~ F. 糊化 5 min; A、D. 籽粒背部区域; B、E. 籽粒腹部区域; C、F. 籽粒中部区域. 标尺 = 20 μm 。
Note: A ~ C. The gelatinization for 0 min; D ~ F. The gelatinization for 5 min; A, D. The dorsal region of kernel; B, E. The ventral region of kernel; C, F. The central region of kernel; Scale bar = 20 μm .

图 2 广陵香糯稻米不同区域淀粉粒在糊化过程中的形态

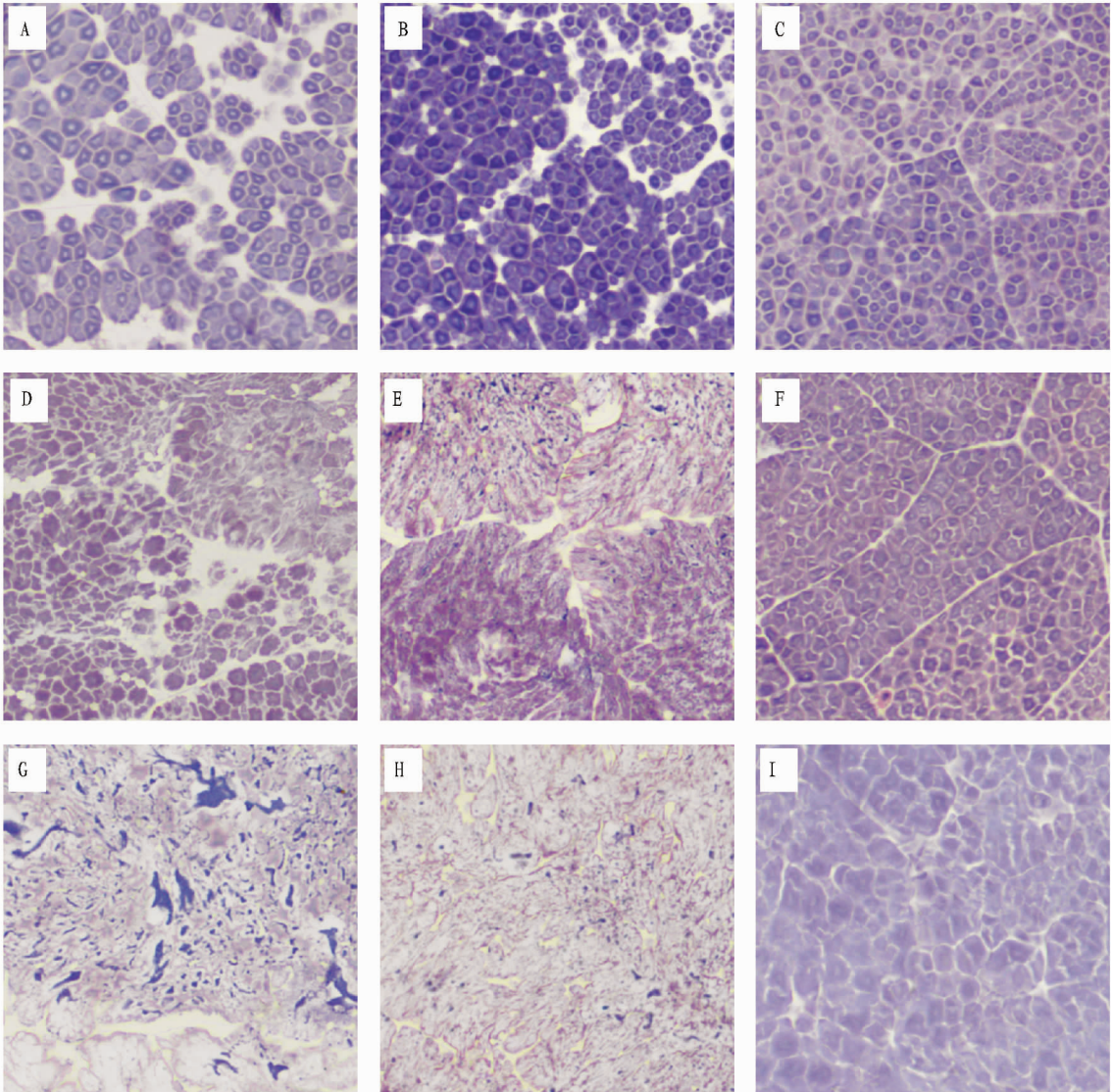
Fig.2 The morphology of starch granule in different regions of GLXN during cooking

2.2 糯米不同区域淀粉粒在糊化过程中的形态变化 未糊化糯米不同区域胚乳细胞充满淀粉粒,淀粉粒为多角形,棱角分明清晰,许多颗粒聚集在一起形成1个复粒淀粉(图2-A~C,图3-A~C,图4-A~C)。广陵香糯淀粉为糯性淀粉,所以呈粉红色且染色较浅,而武香9915和特青淀粉含有直链淀粉,碘染色呈蓝色,染色较深且很清晰。胚乳不同区域淀粉粒的形态无明显差异,但胚乳中部明显比外围区域充实更多淀粉粒。特青糯米因在腹部存在垩白,所以腹部区域淀粉粒多呈球形,排列疏松。

广陵香糯糯米沸水浴煮5 min后,籽粒腹部及背部的细胞壁轮廓已完全破坏,淀粉粒变成絮状,相互粘连在一起,表明淀粉已完全糊化(图2-D,2-E)。中部的细胞轮廓依然清晰,淀粉粒的形态破坏程度较小(图2-F)。沸水浴煮10

min,广陵香糯糯米所有区域的淀粉都完全糊化。

武香9915糯米沸水浴煮10 min时,籽粒背部淀粉粒体积明显增大(图3-D)。而腹部淀粉粒轮廓难以分辨,有些相互粘连在一起,在淀粉粒之间有些染色呈深蓝色的为从淀粉溢出的直链淀粉(图3-E)。籽粒中部区域细胞壁轮廓和淀粉粒的形态与未蒸煮糯米相似,表明沸水浴煮10 min对籽粒中部区域的淀粉未产生明显影响(图3-F)。武香9915糯米沸水浴煮20 min时,籽粒背部区域淀粉粒失去颗粒形态而相互粘连在一起,淀粉完全糊化,大量的直链淀粉溢出被染成深蓝色(图3-G)。籽粒腹部区域胚乳细胞已无法辨认,淀粉完全糊化(图3-H)。籽粒中部区域,淀粉粒体积明显膨大,但颗粒轮廓依然存在,表明淀粉粒已部分糊化(图3-I)。



注:A~C. 糊化0 min; D~F. 糊化10 min; G~I. 糊化20 min; A、D、G. 籽粒背部区域; B、E、H. 籽粒腹部区域; C、F、I. 籽粒中部区域. 标尺=20 μm.

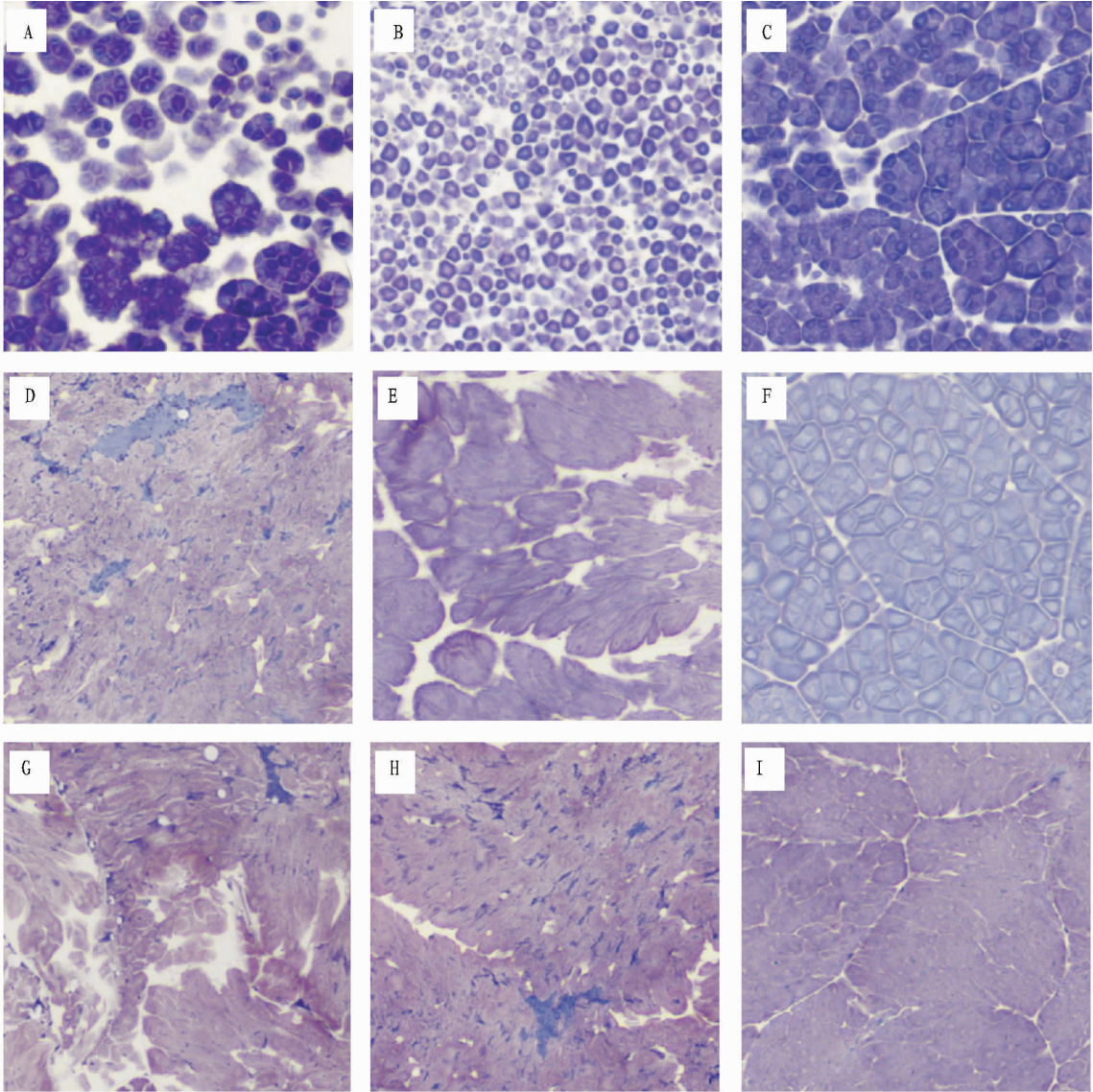
Note:A~C. The gelatinization for 0 min; D~F. the gelatinization for 10 min; G~I. The gelatinization for 20 min; A,D,G. The dorsal region of kernel; B,E,H. The ventral region of kernel; C,F,I. The central region of kernel; Scale bar =20 μm.

图3 武香9915糯米不同区域淀粉粒在糊化过程中的形态

Fig.3 The morphology of starch granule in different regions of WX 9915 during cooking

特青稻米沸水浴煮 10 min 时,籽粒背部和腹部淀粉粒体积增大,颗粒轮廓难以分辨,有些相互粘连在一起,表明淀粉粒已完全糊化(图 3-D,3-E)。籽粒中部区域细胞壁轮廓和淀粉粒的形态与未蒸煮稻米相似,但体积增大,染色明显变浅,表明直链淀粉从淀粉粒中溢出,但淀粉粒未完全糊化

(图 3-F)。特青稻米沸水浴煮 20 min 时,籽粒背部和腹部淀粉粒已全部粘连在一起(图 3-G,3-H)。籽粒中部区域胚乳细胞虽然轮廓清晰,但细胞内的淀粉已膨大失去其颗粒形态,有些相互粘连在一起,表明淀粉粒已部分糊化(图 3-I)。



注:A~C. 糊化 0 min;D~F. 糊化 10 min; G~I. 糊化 20 min; A、D、G. 籽粒背部区域; B、E、H. 籽粒腹部区域; C、F、I. 籽粒中部区域;标尺 = 20 μm .

Note: A - C. The gelatinization for 0 min; D - F. The gelatinization for 10 min; G - I. The gelatinization for 20 min; A, D, G. The dorsal region of kernel; B, E, H. The ventral region of kernel; C, F, I. The central region of kernel; Scale bar = 20 μm .

图 4 特青稻米不同区域淀粉粒在糊化过程中的形态

Fig. 4 The morphology of starch granule in different regions of TQ during cooking

3 结论

稻米糊化从外围向内部进行,糯性稻米糊化较快。糊化过程中,淀粉粒体积增加,直链淀粉溢出,淀粉粒逐渐失去颗粒形态而相互粘连在一起。蒸煮过程中,淀粉粒形态的变化可以反映稻米的糊化。

参考文献

[1] TAMURA M,NAGAI T,HIDAKA Y,et al. Changes in histological tissue structure and textural characteristics of rice grain during cooking process [J]. Food structure,2014,1:164 - 170.

[2] OGAWA Y,GLENN G M,ORTS W J,et al. Histological structures of cooked rice grain[J]. Journal of agricultural and food chemistry,2003,51: 7019 - 7023.
[3] LU S,CIK T T,LII C Y,et al. Effect of amylose content on structure,texture and α -amylase reactivity of cooked rice[J]. LWT-food science and technology,2013,54:224 - 228.
[4] MAN J,YANG Y,HUANG J,et al. Effect of simultaneous inhibition of starch branching enzymes I and IIb on the crystalline structure of rice starches with different amylose content[J]. Journal of agricultural and food chemistry,2013,61:9930 - 9937.

高的药用价值。

4 展望

目前,蓖麻根系的研究尚处于起步阶段,对其还没有做深入细致的研究。根与植物的养分吸收、抗逆(抗盐、抗旱、抗倒伏)以及产量有着密切的关系,尤其蓖麻根的化学成分具有很大的药用价值以及在改良重金属污染的土壤中发挥着重要的作用。在蓖麻根研究中应与地上部分同步进行,应将现代生物技术传统的生物学和育种学充分整合起来对其研究和改造。利用蓖麻根在植物育种、栽培治污、药用价值等方面的作用,充分发挥蓖麻根的生态价值和经济价值。

参考文献

- [1] 廖其兴. 根系研究法评述[J]. 世界农业, 1995(7): 23-24.
- [2] 周云龙. 植物生物学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [3] FITTER A, WASEL Y, ESHEL A, et al. Characteristics and functions of root systems[M]//WASEL Y, ESHEL E, KAFKAFI U, et al. Plant roots, the hidden half. New York: Marcel Dekker Inc, 2002: 15-32.
- [4] 陈永胜, 黄凤兰, 朱国立, 等. 蓖麻研究成果文集[C]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015: 116-166.
- [5] FITTER A H, STICKLAND T R. Architectural analysis of plant root systems, influence of nutrient supply on architecture in contrasting plant species[J]. New phytologist, 1991, 118(3): 383-389.
- [6] OPERSTEIN V, FRYDMAN S. The influence of vegetation on soil strength[J]. Proceedings of the ICE-ground improvement, 2000, 4(2): 81-89.
- [7] 李华坦, 胡夏高, 赵玉娇, 等. 植物根系增强土体抗剪强度机理研究进展[J]. 人民黄河, 2014, 36(8): 97-100.
- [8] 李军. 盐胁迫条件下蓖麻苗期对外源钙调节的响应[D]. 扬州: 扬州大学, 2011: 6-58.
- [9] 蒋小军. 蓖麻高产栽培及育种技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [10] 王忠. 植物生理学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 59-102.
- [11] 康薇, 鲍建国, 郑进, 等. 铜胁迫对蓖麻根系有机酸分泌及 Cu 吸收的影响[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(9): 30-35.
- [12] 刘学义. 大豆成苗期根毛与抗旱性的关系研究[J]. 山西农业科学, 1996, 24(1): 27-30.
- [13] 王法宏. 作物根系研究进展[J]. 莱阳农学院学报, 1991, 8(3): 198-201.
- [14] 何芳绿. 水稻根系的生长生理[J]. 植物生理学通讯, 1980(3): 21-26.
- [15] 郝淑香, 徐皓, 许静, 等. 浅谈阿拉善左旗沙产业发展[J]. 内蒙古林业调查设计, 2015, 38(1): 118-120.
- [16] TESTER M, DAVENPORT R J. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plant[J]. Annals of botany, 2003, 9(5): 503-527.
- [17] CUIN T A, BOSE J, STEFANO G, et al. Assessing the role of root plasma membrane and tonoplast Na⁺/H⁺ exchangers in salinity tolerance in wheat: In planta quantification methods[J]. Plant cell and environment, 2011, 34: 947-916.
- [18] WILLENBORG C J, GULDEN R H, JOHNSON E N, et al. Germination characteristics of polymer-coated canola (*Brassica napus* L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures[J]. Agron J, 2004, 96: 786-791.
- [19] 江惠琼. 云南红壤上蓖麻的 N、P、K 吸收与施肥技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [20] KUMAR R, PANDEY S, PENDEY A. Plant roots and carbon sequestration

[J]. Current science, 2006, 91: 885-890.

- [21] 吴向华. 苏北海滨盐土对 3 种耐盐植物种植响应研究及其微生物资源化利用探索[D]. 南京: 南京大学, 2012: 94-95.
- [22] 陆晓怡, 何池全. 蓖麻对重金属 Cd 的耐性与吸收积累研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 674-677.
- [23] 陆晓怡, 何池全. 蓖麻对重金属锌的耐性与吸收积累研究[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(6): 414-416.
- [24] NIU Z, SUN L, SUN T, et al. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture[J]. Journal of environmental sciences, 2007, 19: 961-967.
- [25] 易心钰. 蓖麻对铅锌污染土壤的适应性及其机理研究[D]. 中南林业科技大学, 2014: 19-40.
- [26] 陆晓怡, 何池全. 蓖麻对重金属 Cd 的耐性与吸收积累研究[J]. 农业环境科学学报, 2005(4): 674-677.
- [27] 陆晓怡, 何池全. 蓖麻对重金属 Cd 的耐性与吸收积累研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 674-677.
- [28] 渠荣遴, 李德森, 杜荣塞, 等. 水体重金属污染的植物修复研究(IV)[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 167-169.
- [29] 郑进, 康薇. 湖北铜绿山古铜矿野生蓖麻重金属含量研究[J]. 黄石理工学院学报, 2009, 25(1): 36-40.
- [30] KANG W, BAO J, ZHENG J, et al. Distribution and chemical forms of copper in the root cells of castor seedlings and their tolerance to copper phytotoxicity in hydroponic culture[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2015, 22(10): 7726-7734.
- [31] 李鲜珠, 沈玉冰, 李万龙, 等. 六价铬高富集植物筛选的研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(2): 12-16.
- [32] 姚远, 李凤山, 陈永胜, 等. 国内外蓖麻研究进展[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2009, 24(2): 172-175.
- [33] 唐祖年, 谢丽霞, 苏小建, 等. 蓖麻根化学成分的研究[J]. 中草药, 2012, 43(1): 15-19.
- [34] RALPH P J, BURCHETT M D. Photosynthetic response of *Halophila ovalis* to heavy metal stress[J]. Environ Pollut, 1998, 103: 91-101.
- [35] DIXIT V, PANDEY V, SHYAM R. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad) [J]. J Exp Bot, 2001, 52: 1101-1109.
- [36] 陈梅. 外源激素对蓖麻营养生长及开花结实的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [37] RAJESHKUMAR D, NAGACHAITANYA V, MANASA G, et al. Pharmacological evaluation of analgesic activity of aqueous extract of ricinus communis root bark[J]. International journal of toxicological and pharmacological research, 2013, 5(4): 94-95.
- [38] 邹立波. 蓖麻毒素与肿瘤治疗[J]. 国外医学·临床生物化学与检验学分册, 2001, 26(6): 290-291.
- [39] CHAKRAVARTULA S V, GUTTARLA N. Biochemical properties of ricin in immature castor seed[J]. Nat Prod Res, 2008, 22(7): 600.
- [40] 唐祖年, 徐雅娟, 冯梅, 等. 蓖麻根提取物对 HepG2. 2. 15HB sAg 和 HBeAg 表达和抗菌作用的研究[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(11): 3006-3008.
- [41] 唐祖年, 韦京辰. 蓖麻根提取物对 HepG2, NCI-H460 和 SGC-7901 细胞增殖及凋亡作用的影响[J]. 广西植物, 2011, 31(4): 564-568.
- [42] 姜秀杰. 蓖麻根提取物抑制肝癌细胞的作用探讨[J]. 中国现代药物应用, 2013, 7(17): 227-228.
- [43] 刘淑霞, 潘冬梅, 魏国江, 等. 亚麻、蓖麻和大麻浸提液对 SCN 化感作用的研究[J]. 长沙: 中国麻业科学, 2014, 36(2): 72-84.
- [44] NITHYA R S, ANUJA M M, SWATHY S S, et al. Effects on spermatogenesis in swiss mice of a protein isolated from the roots of *Ricinus communis* (Linn.) (Euphorbiaceae) [J]. Journal of hazardous materials, 2011, 187: 386-392.

(上接第 6 页)

- [5] 杨洋. 抑制淀粉分支酶基因表达影响稻米外观品质的细胞学和发育学研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2014: 15-16.

- [6] CHUNG H J, LIU Q, LEE L, et al. Relationship between the structure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of rice starches with different amylose contents[J]. Food hydrocolloids, 2011, 25: 968-975.