

稻谷中脂类及其储藏特性研究进展

陈银基¹, 鞠兴荣¹, 董文², 马广鹏²

(1.南京财经大学 粮食储运国家工程实验室, 江苏 南京 210046; 2.中国农村技术开发中心, 北京 100045)

摘要: 与稻谷中含量较多的淀粉和蛋白质相比, 脂类更容易促使稻谷陈化变质, 脂类的变化被认为是导致陈化的最主要因素。稻谷淀粉脂肪体中的脂肪酸对淀粉的糊化特性有很大的影响, 脂肪酸的烃链能与直链淀粉生成螺旋状的络合物, 抑制淀粉的膨润作用。研究认为具有长链、饱和单甘酯的脂肪酸-直链淀粉复合体稳定性更好, 而不饱和脂肪酸中的双键阻碍了脂肪酸与直链淀粉复合体的形成, 并会影响淀粉糊化。本文综述稻谷脂类形态、功能特性、脂类变化与代谢途径。

关键词: 稻谷; 脂类; 淀粉糊化; 陈化; 储藏

Advances in Lipids and Storage Characteristics of Rice

CHEN Yin-ji¹, JU Xing-rong¹, DONG Wen², MA Guang-peng²

(1. National Engineering Laboratory of Food Storage and Transportation, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210046, China; 2. China Rural Technology Development Center, Beijing 100045, China)

Abstract: Lipids can more easily promote rice aging and resulting deterioration compared with rice starch and protein. The change in lipids is considered as the major factor causing aging. Fatty acids from starch fat have an obvious effect on starch pasting properties. Meanwhile, the hydrocarbon chain of lipids and amylose can form a helical structure to inhibit starch swelling. However, the double bonds in unsaturated fatty acids can hinder the complexation between fatty acids and amylose, causing impact on starch gelatinization. Therefore, long-chain and saturated mono-glycerides complex is more stable. In this paper, the major forms, functional properties, content change and metabolic pathways of rice lipids during storage are reviewed.

Key words: rice; lipids; starch pasting; aging; storage

中图分类号: TS210.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)13-0320-04

水稻是世界上栽培历史最悠久、食用人口最多的大宗农作物, 是世界上三大主要谷物之一, 为全球 30 多亿人口提供了赖以生存的口粮, 其中 95% 的稻谷产自亚洲^[1]。我国是世界上稻谷产量最多的国家, 据粮农组织 2012 年的最新统计^[2], 2010 年我国稻谷总产量 1.97 亿 t, 占世界稻谷总产量的 29.35%; 我国稻谷生产主要集中在长江中下游、东北等稻谷主产区, 2010 年稻谷占我国谷物总产量的 39.63%, 是最重要的主粮。同时, 稻谷也是我国居民膳食中最重要的主食来源之一, 全国近三分之二人口以稻谷为主食, 一旦稻谷安全供给出现问题, 人民的生活就会受到影响。

稻谷的生产与消费特点决定了稻谷需要经历一定时间的储藏。据统计, 目前我国的稻谷库存量约占全年稻谷产量的近四成, 每年有超过千亿斤的稻谷用于储

藏, 平均储藏时间约 16 个月。在长期的储藏过程中, 温湿等不稳定环境因素会对稻谷储藏过程及储藏后稻谷品质产生影响。在过去相当长的一段时间内, 为了解决粮食短缺, 相关研究主要集中在如何提高稻谷的产量上, 对稻谷的储藏特性、食用特性重视不够, 有关稻谷储藏的研究与日本、美国等相比仍有不足。减少稻谷储藏损失, 提高储藏后稻谷品质, 实现稻谷安全储藏具有重要现实意义。与稻谷中含量较多的淀粉和蛋白质相比, 脂类更容易促使稻谷陈化变质, 导致稻谷食用品质下降, 因而长期以来稻谷脂类与储藏关系的研究受到学者的关注^[3-5]。在储藏过程中稻谷脂类受到空气中的氧气、高温和高湿等环境因素的影响, 稻谷易加速劣变, 其脂类的变化被认为是导致陈化的最主要因素。脂肪较其他组分对稻谷陈化及食味有更大的影响, 还会

收稿日期: 2012-01-09

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2011834); 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(10)4146);

“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD02B02)

作者简介: 陈银基(1979—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为粮油储藏与加工。E-mail: chenyinji@gmail.com

影响到米饭的光泽、滋味及可口性^[6]。因此研究储藏过程中稻谷脂类特性及其代谢具有十分重要的意义。

1 稻谷中的脂类分布

1.1 脂类分布

谷物中的脂类根据化学特性可以分为中性脂类、极性脂类(也称结构脂类,主要是糖脂和磷脂)^[7],还含有一定数量的游离脂肪酸(free fatty acid, FFA),也是极性脂类。粳米和籼米的脂类组成并没有太大差异^[8];脂类在谷粒内部的分布并不一致,胚乳中脂类含有大量的极性脂类。谷物糠麸层脂类的含量非常高,最高可达糠麸干质量的20%左右,在糊粉层和表皮层,部分脂肪颗粒可达 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ ^[9]。糙米中含有约2.9%的脂类(粗油),其中51%分布在胚芽部分,32%在表层,只有17%在胚乳层^[10]。在胚乳层内部,脂类分布也不均衡,大部分分布在胚乳层的外周部;越往谷粒核心部,淀粉晶体越致密,脂类含量越低。

1.2 脂类含量与脂肪酸组成

稻谷的脂肪含量不高,由于品种及生长环境不同,全世界范围各种研究报道中稻谷的脂类含量波动较大,糙米中脂类含量一般在1%~4%^[11-12];而去除表皮层、胚芽和部分糊粉层后的大米脂类含量一般在0.2%~2%,平均约为0.8%的脂类^[11-12],我国培育的大米中脂类含量稍高,为0.94%~1.2%^[13]。脂肪含量在稻谷籽粒中呈不均匀分布,米胚中含量最高,其次是种皮和糊粉层,胚乳中含量极低,主要是结构脂类(structure lipid),储脂(storage lipid)很少^[14]。脂肪含量随稻谷碾制精度的提高而减少,有关稻谷的脂肪酸组成在各种文献报道中差异较大^[15-18],主要有亚油酸($\text{C}_{18:2}$, 21%~36%)、油酸($\text{C}_{18:1}$, 32%~46%)、棕榈酸($\text{C}_{16:0}$, 23%~28%),还有少量的肉豆蔻酸($\text{C}_{14:0}$, 0.5%~0.8%)、硬脂酸($\text{C}_{18:0}$, 1.4%~2.4%)、棕榈油酸($\text{C}_{16:1}$, 0.4%~0.7%)、亚麻酸($\text{C}_{18:3}$, 0.4%~1.3%)以及微量的月桂酸($\text{C}_{12:0}$)、花生酸($\text{C}_{20:0}$)、花生四烯酸($\text{C}_{20:4}$)等。

2 稻谷脂类分类与功能

2.1 稻谷脂类存在形式

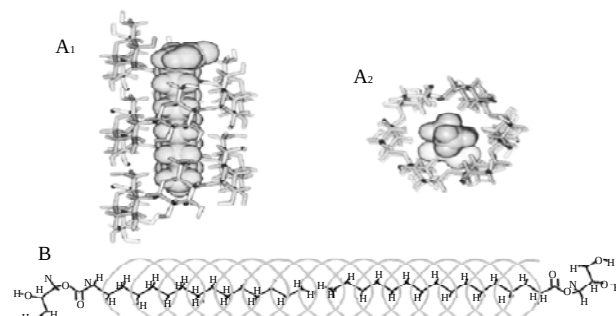
基于细胞分布和细胞的交错联接,稻谷脂类可以大体分为淀粉脂和非淀粉脂,淀粉脂与淀粉颗粒相互联接^[19],非淀粉脂在谷粒中也有分布,主要在表皮层。稻谷淀粉脂肪复合体中的脂肪酸对淀粉的糊化特性有很大的影响,它能与直链淀粉生成螺旋状的络合物,抑制淀粉的膨润作用。稻谷中所含的磷脂和糖脂可与淀粉相互作用,降低淀粉的吸水性和膨胀性,提高淀粉的糊化温度。碾米中淀粉脂含量在0.5%~1.0%左右,远超过非淀粉脂含量。非淀粉脂可以通过乙醚、石油醚、氯仿-

甲醇、水饱和正丁醇等有机溶剂,在20~30℃环境下,从谷物干物质中分离^[20]。非淀粉脂的主要脂肪酸构成为亚油酸、油酸和棕榈油酸^[21]。Begum等^[22]观察到稻谷在烹饪时,非淀粉脂含量显著下降,并且通过研究7种大米脂类发现,乙醚浸提物含量为1.63%~2.74%,而煮熟后的大米中乙醚浸提物含量则下降为0.17%~0.38%。

淀粉脂主要是单酰基脂类,包括脂肪酸和磷脂等,单酰脂与直链淀粉交错相联。FFA中与淀粉相结合的主要是棕榈酸($\text{C}_{16:0}$)和亚油酸($\text{C}_{18:2}$)^[23]。稻谷淀粉颗粒主要结合FFA和磷脂。有学者通过用葡糖淀粉酶处理稻谷研究淀粉脂质中FFA和磷脂的变化,研究发现与对照组相比,通过葡糖淀粉酶的水解作用,5种FFA($\text{C}_{16:0}$ 、 $\text{C}_{18:0}$ 、 $\text{C}_{18:1}$ 、 $\text{C}_{18:2}$ 、 $\text{C}_{18:3}$)含量均上升^[19]。

2.2 稻谷脂类形态与功能特性

单酰基脂类的功能主要是在直链淀粉和脂类的烃链之间形成螺旋状复合体^[24-25],而脂类的羧基末端位于复合体的直链淀粉分子螺旋中^[26-27],见图1。研究淀粉的DSC图谱可以观察到两个吸热峰,高温吸热峰主要由于直链淀粉-脂质复合体的融解。直链淀粉-脂质复合体的形成和溶解是可逆的,这种现象可以用温度图谱的重现来证实;而低温吸热峰主要是淀粉微晶和凝胶的溶解,则是不可逆转的^[28]。在直链淀粉含量为27.9%的稻谷中,直链淀粉-脂质复合体起始融解温度范围为93~96℃^[29]。研究发现^[30]玉米淀粉中饱和脂肪酸与直链淀粉优先结合,不饱和脂肪酸中的双键阻碍了脂肪酸与直链淀粉复合体的形成。米粉加热后,肉豆蔻酸、棕榈酸和硬脂酸加速了直链淀粉-脂质复合体的形成^[31]。



A₁、A₂显示单酰脂位于直链淀粉螺旋中央,构成相对稳定的复合体;B为两个棕榈单酰脂尾-尾相连包埋在直链淀粉螺旋中。

图1 直链淀粉-脂质复合体构型

Fig.1 Structure of amylose-lipid complex

复合体的存在影响了淀粉的糊化及回生反应。淀粉脂质复合体的存在也影响了抗性淀粉的形成^[23],而稻谷脱脂处理后,抗性淀粉产量显著增加^[32]。通过消化实验

发现, 具有长链、饱和单甘酯的直链淀粉-脂质复合体比具有短链、不饱和单甘酯复合体更能抵抗体外消化^[33], 这主要归因于具有长链、饱和度高的脂肪酸-直链淀粉复合体稳定性更好。直链淀粉-脂类复合体同样也影响淀粉糊化, 因此, 米糊中加入脂肪酸, 蒸煮 30~90 min 后, 米糊水溶性降低, 而用布氏黏度仪测定出的糊化温度、峰黏度、95℃黏度、50℃黏度以及稠度系数都有所上升。研究认为 β -环糊精能与直链淀粉-脂质复合体结合, 形成直链淀粉-环糊精-脂质复合体, 米粉中加入 β -环糊精延缓了淀粉的回生^[34]。

糙米中的非淀粉磷脂、淀粉磷脂和淀粉糖脂在高温储藏初期迅速减少, 显示较高的分解率, 以后逐渐稳定下来, 保留相当的残留率。非淀粉糖脂在整个高温储藏过程中一直呈现较高的分解率。这与糖脂、磷脂在糙米中的分布有关: 淀粉脂存在于糙米胚乳中, 其中的磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺和 FFA 是构成细胞和各种细胞器膜的成分; 糖脂则与非极性脂分布规律相同, 主要存在于胚和糊粉层中。所有这些部位, 相应的酶都较多, 如脂肪酶、半乳糖苷酶和磷脂酶等。在储藏过程中各种酶活性不断下降, 其下降的程度糠层比胚乳层要大^[35]。因此, 磷脂相比糖脂含量变化要快。

3 储藏过程中稻谷脂类变化

粮食中脂类代谢和变化主要有氧化和水解两个途径: 脂类中不饱和脂肪酸能被氧化产生醛、酮类羰基化合物; 脂类被脂肪酶水解产生甘油和脂肪酸, 水解酶在脂类氧化和水解中起决定作用。脂肪水解酶是脂肪分解代谢中第一个参与反应的酶, 一般认为它对脂肪的转化速率起着调控的作用, 是稻谷储藏过程中脂肪酸腐败变质的主要原因之一。研究发现与稻谷脂类变化有关的酶除脂肪水解酶外, 还有脂肪氧化酶、半乳糖醛酸酶、磷脂酶。有学者研究脂肪酶和脂肪氧化酶缺失样品, 证实了脂肪酶和脂肪氧化酶在一定程度上具有加速稻谷陈化的作用^[36]。此外, 稻谷中过氧化氢酶、过氧化物酶、多酚氧化酶也是重要的判断稻谷新鲜度的指标性酶。研究认为随着稻谷储藏时间的延长和陈化程度的加深, 稻谷脂肪酸值将逐渐增大, 而过氧化氢酶、过氧化物酶、多酚氧化酶的活性逐渐降低^[37]。脂类在糙米储藏过程中的变化会直接影响到糙米糊化特性^[38]。无论在 8℃ 或 38℃ 条件下储藏的糙米, 经储藏后其糊化温度均有所下降, 而最高黏度、最终黏度等均有不同程度的上升, 低温储藏的糙米变化幅度较小。这是由于糙米中 α -淀粉酶活性随储藏时间延长而降低, 以及不溶性直链淀粉含量随储藏时间延长而逐渐增加的缘故。各储藏期的糙米, 脱去非淀粉脂(non-starch lipids, NSL)后, 其最高黏度值、最终黏度值均有所下降, 原因是脱去 NSL 后消除或减弱了脂类与淀粉相互作用对淀粉糊化过程的影响。

稻谷的储藏特性决定了储藏后大米的食用品质。高温是稻谷储藏过程中最不利的因素, 不仅导致大米品质劣变, 还能致使稻谷发芽。学者研究了稻谷储藏过程中如何确保品质稳定。一般认为稻谷中脂类降解是储藏过程稻谷品质劣变的主要原因^[39]。稻谷中的脂肪含量虽少于淀粉、蛋白质等成分, 但最容易发生变化, 经酯酶的催化能分解成甘油和 FFA, 从而使稻谷 FFA 增加。稻谷加工时, 皮层的脂类和脂肪酶同时被机械力的作用, 在米粒中沉积在一起, 脂肪酶作用于脂类, 在稻谷的表层产生 FFA, 并与其他脂类氧化导致稻谷产生异味。FFA 含量的变化对储藏稻谷品质劣变有很大影响。粳稻储藏米 FFA 含量的增加是导致食味变差的主要原因^[40]。在工业生产上, 以加工稻谷的 FFA 作为稻谷新鲜度的重要指标, 不仅可以预测稻谷异味(off-flavour), 还可以预测稻谷异色(off-colour)产生。脂类对稻谷的食味^[41-42]和可口性也有极大的影响, 脂肪含量高的米蒸煮后, 表面光亮, 且冷饭口味和口感好。脂肪酸是脂类的主要成分, 研究发现脂肪酸含量与食味显著负相关^[42]。随着储藏时间的延长, 稻谷脂肪酶活性、FFA 含量和脂氧合酶活性均增加, 相同条件下脂肪酶活性是脂氧合酶活性的 10~20 倍。湿度条件也是影响因素之一, 干燥之后的稻谷脂肪酶活性、FFA 含量均明显下降, 脂氧合酶活性无明显变化。在储藏过程中, 稻谷脂质水解使 FFA 含量增加, FFA 包藏在直链淀粉的螺旋结构中, 与直链淀粉形成配合物, 配合物分子螺旋状密集而结晶化, 使稻谷在蒸煮时糊化所需的水分难以通过, 限制了淀粉的膨胀, 使米饭蒸煮时变得硬而黏性小, 影响了淀粉的糊化。用极性溶剂如正己烷处理大米, 去掉部分脂质后在不同温度条件下储藏均无明显陈化发生佐证了脂类变化是导致稻谷陈化的主要因素之一。

4 结 语

近年来随着研究的深入, 人们逐渐认识到适量摄食脂类和保持脂类平衡摄取的重要性。稻谷不仅是最重要的主粮, 其中脂类还具有独特功效。长期以来, 对稻谷的研究主要集中在稻谷的淀粉特性、蛋白特性等方面, 对稻谷脂类研究报道较少^[43-44]。特别是对稻谷陈化过程中其脂类和脂肪酸的变化以及这些变化与人体健康的潜在关系, 国内外相关报道更少。在稻谷品质改良中, 育种家也意识到脂肪在稻谷品质改良中所起的作用^[45], 并认为北方粳米应把适当降低蛋白质含量、提高粗脂肪含量作为全面改善稻谷品质的重要手段^[46]。进一步分析和理清稻谷及稻谷储藏过程中脂类、脂肪酸特性及其代谢机理, 对于人们了解日常膳食营养结构和水平, 改进水稻育种指标体系, 形成科学合理的稻谷储藏、加工和消费方式都具有重要意义。

参考文献:

- [1] BHATTACHARJEE P, SINGHAL R S, KULKARNI P R. Basmati rice: a review[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(1): 1-12.
- [2] FAO 2012[DB/OL]. (2012-02-23)[2012-02-26]. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
- [3] 刘洁, 张瑛, 宋美, 等. 水稻种胚脂肪酶酶活的精确定量分析技术研究[J]. 高技术通讯, 2007, 17(10): 1077-1081.
- [4] 贺梅, 张文忠, 宋冬明, 等. 不同储藏温度及储藏时间对稻谷品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 472-477.
- [5] 夏吉庆, 郑先哲, 刘成海. 储藏方式对稻米黏度和脂肪酸含量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 260-263.
- [6] 吴关庭, 李旭晨. 稻米食味的研究与改良[J]. 中国农学通报, 2000, 16(6): 21-24.
- [7] ZHOU Zhongkai, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Composition and functional properties of rice[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(8): 849-868.
- [8] MANO Y, KAWAMINAMI K, KOJIMA M, et al. Comparative composition of brown rice lipids (lipid fractions) of Indica and Japonica rice[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 1999, 63(4): 619-626.
- [9] BECHTEL D B, POMERANZ Y. Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oryza sativa*) caryopsis. The starchy endosperm[J]. American Journal of Botany, 1978, 65(6): 684-688.
- [10] RESURRECCION A P, JULIANO B O, TANAKA Y. Nutrient content and distribution in milling fractions of rice grain[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1979, 30(5): 475-481.
- [11] SINGH S, DHALIWAL Y S, NAGI H P S, et al. Quality characteristics of six rice varieties of Himachal Pradesh[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 1998, 35(1): 74-78.
- [12] JULIANO B O. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice[M]. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1985: 59-174.
- [13] ZHAI C K, LU C M, ZHANG X Q, et al. Comparative study on nutritional value of Chinese and North American wild rice[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2001, 14(4): 371-382.
- [14] MEGAT RUSYDI M R, NORALIZA C W, AZRINA A, et al. Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties[J]. International Food Research Journal, 2011, 18(2): 688-696.
- [15] KITTA K, EBIHARA M, IIZUKA T, et al. Variations in lipid content and fatty acid composition of major non-glutinous rice cultivars in Japan [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18(4): 269-278.
- [16] ATAPOUR M, MOHARRAMIPOUR S, BARZEGAR M. Seasonal changes of fatty acid compositions in overwintering larvae of rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2007, 10(1): 33-38.
- [17] ZHOU Zhongkai, BLANCHARD C, HELLIWELL S, et al. Fatty acid composition of three rice varieties following storage[J]. Journal of Cereal Science, 2003, 37(3): 327-335.
- [18] GELETA M, STYMNE S, BRYNGELSSON T. Variation and inheritance of oil content and fatty acid composition in niger (*Guizotia abyssinica*) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(7): 995-1003.
- [19] JULIANO B O. Lipids in rice and rice processing[M]. London: Academic Press, 1983: 305-330.
- [20] MORRISON W R. Cereal lipids[M]. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1978: 221-348.
- [21] LÁSZITTY R. The chemistry of rice[M]. Budapest: Akadémiai Kiadó Lexikonszerkesztőseég, 1999: 267-290.
- [22] BEGUM M, BHATTACHARYA R. Fat contents in raw and cooked Assam rice varieties[J]. Journal of Food Science and Technology(Mysore), 2000, 37(1): 58-60.
- [23] KITAHARA K, TANAKA T, SUGANUMA T, et al. Release of bound lipids in cereal starches upon hydrolysis by glucoamylase[J]. Cereal Chemistry, 1997, 74(1): 1-6.
- [24] NUESSELI J, PUTAUX J L, le BAIL P, et al. Crystal structure of amylose complexes with small ligands[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2003, 33(4/5): 227-234.
- [25] NIMZ O, GESSLER K, USÓN I, et al. Inclusion complexes of V-amylose with undecanoic acid and dodecanol at atomic resolution: X-ray structures with cycloamylose containing 26 D-glucoses (cycl ohexacosae) as host[J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(8): 1427-1437.
- [26] NEBESNY E, KWAŚNIEWSKA-KAROLAK I, ROSICKA-KACZMAREK J. Dependence of thermodynamic characteristics of amylose: lipid complex dissociation on a variety of wheat[J]. Starch-Stärke, 2005, 57(8): 378-383.
- [27] TUFVESSON F, WAHLGREN M, ELIASSON A. Formation of amylose-lipid complexes and effects of temperature treatment. Part 2. Fatty acids[J]. Starch-Stärke, 2003, 55(3/4): 138-149.
- [28] KUGIMIYA M, DONOVAN J W, WONG R Y. Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches: a calorimetric study[J]. Starch-Stärke, 1980, 32(8): 265-270.
- [29] CHIEN J T, LIEN Y Y, SHOEMAKER C F. Effect of polarity of complexing agents on thermal and rheological properties of rice starch gels[J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(6): 837-842.
- [30] YAMADA T, KATO T, TAMAKI S, et al. Introduction of fatty acids to starch granules by ultra-high-pressure treatment[J]. Starch-Stärke, 1998, 50(11/12): 484-486.
- [31] KAUR K, SINGH N. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour[J]. Food Chemistry, 2000, 71(4): 511-517.
- [32] MANGALA S L, UDAYASANKAR K, THARANATHAN R N. Resistant starch from processed cereals: the influence of amylopectin and non-carbohydrate constituents in its formation[J]. Food Chemistry, 1999, 64(3): 391-396.
- [33] GURAYA H S, KADAN R S, CHAMPAGNE E T. Effect of rice starch-lipid complexes on *in vitro* digestibility, complexing index, and viscosity [J]. Cereal Chemistry, 1997, 74(5): 561-565.
- [34] TIAN Yaoqi, YANG Na, LI Yin, et al. Potential interaction between β -cyclodextrin and amylose-lipid complex in retrograded rice starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(2): 581-584.
- [35] BARNES P J. Lipids in cereal technology[M]. London: Academic Press INC, 1983: 305-331.
- [36] 王若兰, 李浩杰, 邢伟亮. 酶缺失稻谷新品种储藏特性研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2006, 27(4): 23-27.
- [37] 周显青, 张玉荣. 储藏稻谷品质指标的变化及其差异性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 238-243.
- [38] 张向民, 周瑞芳, 冯仑. 脂类在稻米陈化过程中的变化及与稻米糊化特性的关系[J]. 中国粮油学报, 1998, 13(3): 16-20.
- [39] RAMEZANZADEH F M, RAO R M, WINDHAUSER M, et al. Prevention of oxidative rancidity in rice bran during storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(8): 2997-3000.
- [40] 严文潮, 叶定池. 米饭质地特征及其与食味品质的关系[J]. 浙江农业学报, 2002, 40(14): 187-191.
- [41] HE Jiangzhou, QU Dong. Dissimilatory Fe(III) reduction characteristics of paddy soil extract cultures treated with glucose or fatty acids[J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20(9): 1103-1108.
- [42] 郑桂萍, 刘沐江, 刘丽华, 等. 稻米脂肪酸与食味的关系及土壤水分的调控效应[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1149-1155.
- [43] ROSE D J, OGDEN L V, DUNN M L, et al. Enhanced lipid stability in whole wheat flour by lipase inactivation and antioxidant retention[J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(2): 218-223.
- [44] FATEMEH M. Lipase and lipoxigenase activity, functionality, and nutrient losses in rice bran during storage[EB/OL]. (2011-02-14)[2011-12-25]. <https://www.louisianakidsandteens.org/NR/rdonlyres/1566677F-C4A7-4B65-A508-A61FF8902D80/3933/B870ricebran.pdf>.
- [45] 王海莲, 万向元, 胡培松, 等. 稻米脂肪含量近红外光谱分析技术研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1540-1546.
- [46] 吴长明. 稻米品质遗传研究进展与改良策略探讨[J]. 中国农学通报, 2002(6): 66-71.