

重组米品质特性及其功能性产品的研究进展

王绪昆, 郑慧心, 宋冰梅, 杨智慧, 窦博鑫, 张娜, 刘颖

(哈尔滨商业大学 食品工程学院, 哈尔滨 150076)

摘要: **目的** 对目前的重组米品质特性及其功能性产品进行总结研究, 并针对其相关机理进行汇总讨论, 为重组米领域的深层次研究提供参考。 **方法** 主要综述重组米的糊化特性、质构特性、消化特性和老化特性等在机理及相关影响因素方面的研究现状和进展, 以及重组米的低GI(血糖生成指数)、低蛋白和营养强化功能性方面的研究现状和进展。 **结果** 目前多数的研究都趋于表面加工技术方面, 缺少营养成分对性质的影响方面的研究。目前重组米的制备工艺较为复杂, 产量较低, 在一定程度上限制了重组米的市场规模。 **结论** 未来可加强对分子层面机理的研究, 改善开发重组米的安全性, 研制出更健康、更优质、更具市场潜力的产品。

关键词: 重组米; 糊化特性; 质构特性; 消化特性; 老化特性; 功能性产品

中图分类号: TS213.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)17-0096-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.17.012

Progress of Quality Characteristics of Reformed Rice and Its Functional Products

WANG Xu-kun, ZHENG Hui-xin, SONG Bing-mei, YANG Zhi-hui, DOU Bo-xin, ZHANG Na, LIU Ying

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

ABSTRACT: In this paper, the quality characteristics and functional products of reformed rice were summarized and discussed, and their related mechanisms were summarized and discussed, so as to provide reference for researchers in this field. This paper reviews the current status and progress of research on the aspects including gelatinization characteristics, textural characteristics, digestive characteristics, ageing characteristics, low GI, low protein and nutrient enrichment of reformed rice. Most of the current studies tend to focus on the surface processing technology, but there is a lack of research on the effect of nutrients on the characteristics. In addition, at present, the preparation process of reformed rice is relatively complex and the yield is lower, which limits the market scale of reformed rice to some extent. It is necessary to strengthen the research on the molecular mechanism and improve the development safety of reformed rice, so as to develop reformed rice products with healthier and better quality, and more market potential.

KEY WORDS: reformed rice; gelatinization characteristics; textural characteristics; digestive characteristics; ageing characteristics; functional products

重组米又名工程米, 是利用淀粉类物质为原料, 加入适量的营养剂, 经挤压熟化、切割、干燥等步骤

制成与天然大米相似的米粒。在挤压过程中, 以淀粉为基质的谷物受到联合作用, 其成分、结构、功能性

收稿日期: 2021-01-29

基金项目: 黑龙江省科技重大专项(2020ZX08B02; 2019ZX08B02); 哈尔滨商业大学青年后备项目(2019CX32); 黑龙江省国家级大学生创新训练计划(202010240008)

作者简介: 王绪昆(2000—), 男, 哈尔滨商业大学本科生, 主攻农产品加工与综合利用。

通信作者: 刘颖(1968—), 女, 博士, 哈尔滨商业大学教授、博导, 主要研究方向为粮食工程与营养功能因子。

发生改变,得到的重组米相较于天然大米,口感更细腻、营养更全面。

近年来相关研究表明,针对不同需求的人群,可通过改变谷物成分的配比,研制出不同特性的新型营养强化米。目前用于制作重组米的原辅料主要有糙米^[1]、玉米^[2]、大豆^[3]、马铃薯^[4-5]和芋头^[6]等杂粮,主要研究其营养原辅料对重组米品质的影响。Su 等^[7]通过添加蛋壳粉和食用胶等辅料,改善重组米的品质特性。Saadat 等^[8]研究发现,向重组米中添加一定量的瓜尔胶和阿拉伯胶能明显改善重组米的性质。Harrow 等^[9]向部分糊化的米粉中加入一定量的粉状脂肪和 NaCl 制得优质的方便米。目前,针对营养重组米的研究局限于品质特性方面,在重组米的血糖指数、蛋白质指数和功能性等方面的研究尚浅,相关报道较少。

目前,我国约有 2/3 的人将大米当作主食,由于日常食用的天然大米营养成分单一,不适宜某些特殊人群食用,因此功能性重组米极有可能成为日后重组米全新的研究方向。文中基于人们对大米主食产品的需求,探讨不同重组米的特性和功能性,为日后重组米的研究提供参考。

1 重组米特性研究进展

1.1 糊化特性

重组米遇水达到一定的温度后,水进入重组米的淀粉微晶束中,拆散了淀粉分子间的缔合状态,使其失去原有的取向排列而变为混乱状态,淀粉颗粒溶胀、崩溃成黏稠均匀的糊溶液,可用糊溶液的粘度表示糊化特性。通常用快速粘度分析(Rapid Visco Analyser, RVA)曲线进行分析,包括峰值粘度、谷值粘度、最终粘度、衰减值和回生值。易翠平等^[10]研究表明,蛋白质(谷蛋白、醇溶蛋白、清球蛋白等)和脂肪含量对重组米的糊化特性有较大影响。林楠等^[11]以大黄米、糯米、糯玉米淀粉为原料,对添加不同含量麦芽糖的重组米进行研究,结果表明,麦芽糖有降低体系粘度、增加淀粉糊化温度的作用。熊善柏等^[12]以淀粉为研究对象,研究表明淀粉的糊化程度与淀粉来源、直链淀粉含量、水分含量、加热温度等条件有关。基于以上研究,影响重组米糊化的因素较多,且同一 RVA 指数可能受不同因素影响。如李兆钊等^[13]探究了杂粮种类和添加量对杂粮重组米 RVA 曲线指数的影响,结果表明,杂粮分子的结构和添加量均会对 RVA 指数中单个指数产生影响。深入研究重组米的糊化特性不只是为了优化重组米口感、消化特性,糊化特性的研究对重组米其他性状的研究也大有助力。如 Prakash 等^[14]研究发现,淀粉糊化会使重组米颜色加深;ALESSANDRA 等^[15]研究发现,高温加热是重组米颜色变深的主要原因。李兆钊等^[13]研究表明,杂粮种类和添加量均会增加回

生值,且影响重组米口感。关于重组米糊化特性可基于天然大米糊化特性进行对比研究。

1.2 质构特性

重组米的质构特性通常用质构分析曲线进行分析,将重组米的口感用弹性、黏聚性、咀嚼性等全质构分析(Texture Profile Analysis, TPA)参数进行评价,加上重组米的粒径、色泽、蒸煮后的吸水性等,综合评价重组米的组织状态、口感和滋味。在高温、高压等条件作用下,重组米的质构特性会发生改变。徐晓茹等^[16]对挤压重组米的品质特性进行研究,证明高温、高压和高剪切作用会使大米的内部结构发生变化,使重组米的 TPA 参数发生改变。在重组米的加工过程中,采用不同的加工工艺也会影响重组米的 TPA 参数。安红周等^[17]以大米粉为主要原料,采用挤压技术和传统工艺制备重组米,发现前者在色泽、品质方面均优于后者。谢天^[18]以 17 种玉米淀粉为主要原料,利用 SLG-30 试验型双螺杆挤压机进行挤压,表明经双螺旋挤压处理后不同品种的玉米重组米的吸水性、水溶性和膨润力均显著提高。影响重组米质构特性的基础成分因子不同也会影响重组米的 TPA 参数。陈怡岑等^[19]研究谷粮重组米及其米粉品质特性,结果表明,粗纤维、粗蛋白的含量对质构参数影响较大,淀粉含量越少,色泽越优。

目前研究表明,虽然重组米与自然米粒在粒径、色泽、吸水性、弹性、黏聚性、咀嚼性等方面无显著性差异,但是影响重组米质构特性的因素有很多。目前对于此方面的研究多基于前 2 方面对质构特性的影响,关于基础影响因子的改变对重组米质构 TPA 指数的影响的深层次研究较薄弱。未来可加强此方面的研究,确定纤维、蛋白、淀粉、脂肪等基础成分因子对 TPA 指数的影响,有利于在研究不同功能性重组米时,选用较合适的添加原料种类,使得在功能重组米的研究中更便利地选择原料。

1.3 消化特性

重组米将淀粉类物质作为主要原料,淀粉经消化后会导致血糖升高。由于不同淀粉的消化速度不尽相同,可分为快消化淀粉(Rapidly Digestible Starch, RDS)、慢消化淀粉(Slowly Digestible Starch, SDS)、抗性淀粉(Resistant Starch, RS)。其中,RS 可根据淀粉来源和抗酶解性的不同分为 5 类:RS1(物理包埋淀粉)、RS2(抗性淀粉颗粒)、RS3(回生淀粉)、RS4(化学改性淀粉)、RS5(直链淀粉-脂类复合物)^[20-21]。RS 具有改善肠道菌群,促进肠道有益微生物的繁殖,减弱炎症等优质生理功能。如 RS 的摄入可以促进双歧杆菌等有益菌数量的增加,保护肠道,同时抑制产生内毒素的革兰氏阴性菌的增加,从而降低患病概率^[22-23]。RS 通过调节肠道菌群

的组成,进而具有改善宿主糖脂代谢、肠道屏障、免疫应答等作用(见图1)^[24-26]。

RS 在小肠中相对不易降解,其抗降解的程度主要取决于淀粉分子中直链淀粉与支链淀粉的比例。支链淀粉是一种葡萄糖聚合物,在分支点处容易被淀粉酶酶解。相比之下,直链淀粉是一种更线性的葡萄糖聚合物,不易被水解。在挤压状态下重组米中淀粉在较低水分含量下发生糊化后可返生形成 RS3 型抗性淀粉^[27]。研究表明,在挤压状态下支链淀粉相较于直链淀粉更易发生降解,使重组米中抗性淀粉的含量升高^[28]。此外,基于 RS 在人体的各项功能可以推断出,具有高含量抗性淀粉的重组米的生理价值较高。还可通过添加抗性淀粉优化重组强化米的消化特性。商金颖等^[29]研究抗性淀粉对复合营养强化米质构和品质的影响,结果表明,当抗性淀粉的质量分数为 55%时,重组米的蒸煮品质、质构特性最优。

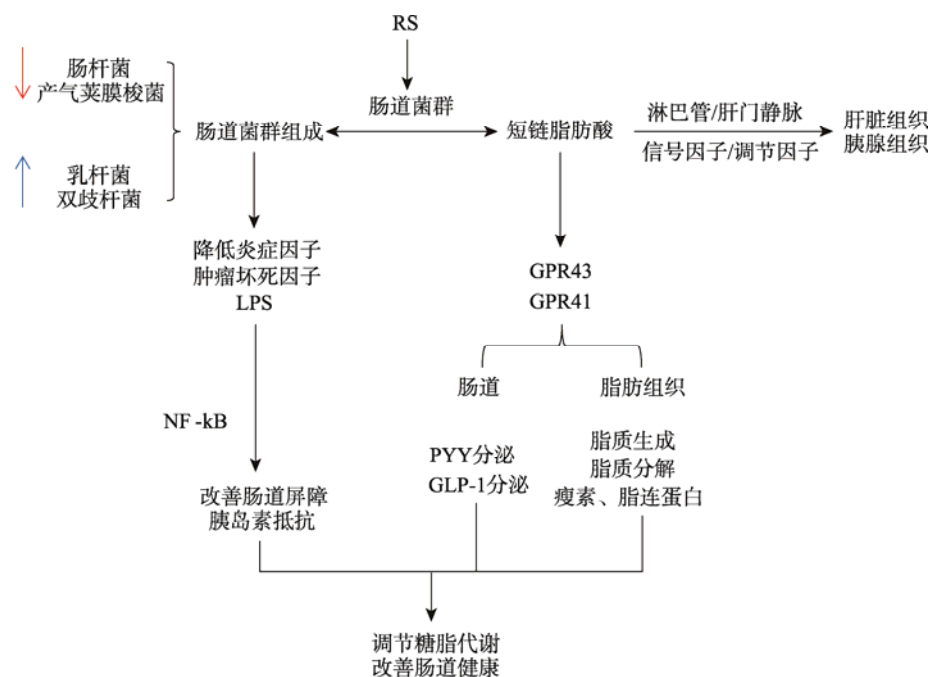
目前国内外对重组米的消化特性已进行大量研究,主要对重组米进行体外模拟消化实验^[21],将实验测得的淀粉消化速率和吸收速率作为评价重组米消化特性的指标。王霞等^[6]对富硒芋头重组米的制备及其消化特性进行研究,结果表明,挤压膨化技术有助于提高重组米抗性淀粉和慢消化淀粉的含量。李学琴等^[30]研究表明,挤压膨化和重组造粒技术可改变部分原料淀粉结构,使淀粉水解指数(Hydrolysis Index, HI)和血糖负荷评估值(Estimated Glycaemic Load, EGL)降低。徐晓茹^[28]以芦丁、黄酮、富铬酵母为辅

料制备重组米,发现芦丁、黄酮、富铬酵母有助于增加 SDS 和 RS 的含量,具有减缓淀粉消化、降血糖的作用。蔡乔宇等^[31]研究表明,芦丁、富铬酵母对 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶具有抑制作用,且可改善重组米在体外的消化情况,减缓血糖的体外吸收。

目前,淀粉消化特性的测定方法趋于简单精确,这为重组米消化特性的研究奠定了基础,使其成为当下的热点研究课题,国内重组米研究集中在加工技术和各种添加物对其消化特性的影响。近年来,为进一步改善淀粉的消化特性,国内外学者研究不同的烹调方式对淀粉消化特性产生的影响,目前重组米的相关研究还未见报道。与此同时,对重组米其他营养物质消化特性(例如蛋白质消化特性)的研究也未见报道,未来可加强这些方面的研究。

1.4 老化特性

重组米的老化即重组米原料所含淀粉的老化,为淀粉糊化的逆过程,是淀粉分子从无序到有序的重新排列。淀粉颗粒在加水加热的条件下糊化成溶液状的淀粉分子,此时颗粒中的直链淀粉以分子形式存在水中。当挤压完成后,在淀粉种类、温度、pH、浓度等差异性因素影响下,直链淀粉分子开始彼此靠近,并通过形成氢键缠绕成双螺旋结构,双螺旋分子进一步折叠形成双螺旋结晶结构,发生老化回生现象。其中淀粉的直链淀粉含量和支链淀粉结构是老化现象的主要影响因素,直链淀粉糊化温度高,冷却时易



注: LPS 为脂多糖; NF-KB 为核转录因子; PYY 为酪酪肽; GLP-1 为胰高血糖素样肽-1

图1 RS 通过肠道菌群调节宿主健康

Fig.1 Resistant starch managing host health through intestinal flora

老化^[32]。老化现象后会降低重组米的品质、口感等，从而降低了其食用价值^[33]。可使用酶解法、羟丙基化或以直链淀粉含量低的淀粉为原料等方法，对重组米的老化现象进行优化^[34]。此外还可以向原料中添加直链淀粉和脂质形成单螺旋淀粉-脂质复合物，其抑制淀粉颗粒的膨胀，并防止淀粉颗粒在加热期间分解，从而减缓了老化速度。与此同时，脂质与直链淀粉的相互作用与直链淀粉本身的相互作用之间存在竞争，通过形成淀粉-脂质复合物，抑制淀粉双螺旋结构的形成，使食品的老化现象得到改善^[35]。目前主要通过差示扫描量热仪和质构仪，研究重组米的老化特性和硬度变化^[36]。方冲^[37]研究了添加相关比例的燕麦膳食纤维、大米蛋白、高直连玉米淀粉对挤压重组米特性的影响，表明燕麦膳食纤维和大米蛋白容易使重组米淀粉老化，高直链玉米淀粉可降低重组米淀粉的老化程度。肖瑜等^[38]通过研究不同蛋白质对大黄米淀粉老化特性的影响，表明蛋白质也可影响淀粉老化体系的热量变化，从而延缓样品的老化。乔聪聪等^[39]以谷物制品作为实验对象研究其老化机理，实验表明，老化因素大致可分为环境和食品成分因素。沈宇光^[40]制备了含抗性淀粉的马铃薯重组米，并探究其性质，发现含一定量的 RS 可在短期内抑制马铃薯重组米的老化程度。

基于目前的研究，在众多影响重组米老化特性的因素中，不同因素具有不同的作用机理，且不同的重组米原料在挤压过程产生的变化具有复杂性。研究发现，重组米的老化特性会显著影响重组米的 GI 指数，有必要加强对重组米老化特性的研究，未来可通过研究不同的重组米制作方式，或探寻在原料中加入某些代表性脂类等，找出能降低老化特性的优质工艺条件。

2 功能性重组米

2.1 营养强化重组米

随着国民生活条件日益好转，消费者对主食的要求日益提高，需要营养更加全面的主食，目前大米加工精度逐步提高，导致营养物质的损失加大，大米的营养价值降低。由于人们对改善营养的不重视，容易造成营养失衡等问题，进而影响健康。为了优化目前的膳食结构，营养强化米被广泛研究。营养强化重组米是将稻米搭配不同的营养物质，经过均质、挤压等工艺制成的具有天然大米外形的谷物食品。营养强化重组米的制成方法主要有物理法和生物法，包括喷涂、浸吸、涂膜、挤压、焙炒等^[41]。王霞等^[6]采用挤压膨化法，以碎米和芋头全粉为主料，添加营养素等食品添加剂为辅料制作富硒芋头重组米，结果表明，在最佳工艺下制得的富硒重组米中，硒含量符合人体吸收需要。刘小禾等^[42]在碎米为原料的基础上，加入

一定量的抗坏血酸和海藻酸钠等食品添加剂，通过改良螺旋挤压条件制备营养重组米，确定了最佳制作工艺，制成了外形与普通大米相似，富含抗坏血酸的营养强化重组米。张颖等^[43]用小麦、大米、燕麦等粗粮在一定的工艺下制成了富含多种营养成分的营养强化重组米。李学琴等^[30]向薏米、红米等药食同源谷物中加入茯苓，经挤压膨化工艺后制得了优质复合营养强化重组米。

随着均衡膳食营养知识的普及，未来消费者需要营养更均衡的主食，营养重组米提供了一个优质的选择。目前有关营养重组米的研究课题较少，主要为加入其他营养元素来提高重组米自身的营养价值。日后可根据杂粮的不同搭配，保证制作重组米仪器的精度，制备营养均衡、工艺简单的营养重组米。

2.2 低 GI 重组米

低 GI 重组米是以大米为主要原料、某种具有降血糖功效的植物粉制品为辅料，或是以具有降血糖植物粉制品为原料，或是用辐射处理降血糖食物得到的粉制品经高温螺旋挤压而形成的鲜榨米。低 GI 重组米在肠胃中阻碍葡萄糖的扩散，使葡萄糖的消化和释放速度变慢，降低血液中的血糖峰值。在前人的研究和对糖尿病病人饮食的研究基础上，降低大米中支链淀粉与直链淀粉的比值，可研制出具有降血糖功能的重组米。Englyst 等^[44—45]发现碳水化合物在人体中分为快速利用葡萄糖 (Rapidly Available Glucose, RAG) 和慢速利用葡萄糖 (Slowly Available Glucose, SAG)，并通过研究表明 RAG 与 GI 存在相关性。梁羽彤等^[46]研究不同桑叶粉的添加量对低 GI 重组米品质的影响，结果表明，桑叶粉质量分数为 5% 的重组米的降血糖效果显著。沈伟桥等^[47]利用 ⁶⁰Co γ 辐射处理高抗性淀粉含量的早籼稻品种，结果表明，处理后的早籼稻品种具有淀粉含量高、胶稠度软和抗性淀粉含量高的特点，由于添加较高的抗性淀粉含量可制作出低 GI 重组米，故可尝试用辐射处理后的早籼稻米作为原料制作重组米。丁长河等^[48]通过模拟人体肠胃炎的环境，研究不同品种大米分解为碳水化合物后的消化特性，结果表明桥米的血糖指数较低，由此可知桥米是适合糖尿病病人食用的大米种类。Allen 等^[49]研究表明，部分食物经过蒸煮、烤制等热处理后，其 GI 值会升高，值得注意的是刘成梅等^[50]发现，添加高直链玉米淀粉的挤压重组米经蒸煮后可明显降低其 GI 值。

前人主要研究低 GI 重组米的内部结构、蒸煮品质、质构特性、可利用的碳水化合物消化速率、感官评价等性质。由于应用于低 GI 重组米的原料较少，因此未来可将更多降血糖的食物（山药、早籼稻和莲子等）进行物理技术预处理后，通过与大米粉挤压混合，制得具有降血糖作用的重组米，旨在打开更多的低 GI 重组米市场。

2.3 低蛋白重组米

低蛋白重组米是用生物工程技术处理大米使其蛋白质含量降低,或采用淀粉脱蛋白后螺旋挤压成型的颗粒米。机体摄入大量蛋白质会导致能量代谢速率增加,加重肾病患者病情。食用低蛋白重组米可降低蛋白质的摄入量,减少必需氨基酸的分解,改善体内能量的代谢,减缓肾功能的衰竭。Frank等^[51]发现摄入过多高蛋白会导致肾小球硬化,由此可知限制食物中蛋白质的摄入量可预防慢性肾衰竭。Gretz等^[52]建议慢性肾病患者每日蛋白摄入量限量为 $0.6\text{ g/kg} \times \text{体质量}$ 。吴丽等^[53]以粳米淀粉为原料,采用改良挤压技术制备低蛋白重组米,确定了重组米的最佳制备工艺参

数。刘春景等^[54]经研究得出制备低蛋白重组米的最佳工艺参数:机筒温度为 $102\text{ }^{\circ}\text{C}$,物料含水率为30%,螺杆转速为 132 r/min ,且低蛋白重组米崩解值达到最大值($1.1139\text{ Pa}\cdot\text{s}$)。

近年来的研究表明,虽然研制低蛋白重组米以挤压技术为主,其具有连续、低耗、高效等优点,但是存在损坏营养因子的风险;虽然生物工程技术保留了大米的大部分营养物质,但是生产成本低。由此可见,应用于功能性重组米的技术方法和仪器设备还有待加强。功能性重组米在饮食方面可辅助治疗疾病,如高血糖和慢性肾病等,由表1可知,现有的多项复合功效重组米较少,可结合动物实验研究低脂肪、低热量重组米,以适应当下多元化的消费市场。

表1 不同重组米代表性物质和作用功能
Tab.1 Representative substances and functions of different reformed rices

序号	重组米名称	功能性成分	作用和功能	参考文献
1	糙米重组米	膳食纤维、谷维素、谷胱甘肽、 γ -氨基丁酸、米糠多糖、二十八烷醇、肌醇	降血糖,降血脂,改善肠道菌群;抗氧化,清除自由基,抗癌;保护肝脏,延缓皮肤衰老;健脑益智,调节血压;提高免疫力,降血糖,降血脂;抗疲劳,促进新陈代谢;改善肝硬化、糖尿病	[55—58]
2	大豆重组米	大豆脂肪、大豆膳食纤维、大豆氨基酸	减少胆固醇吸收,预防高血压、冠心病、动脉中央硬化等疾病;促进肠道蠕动,加快排便速度,防止便秘,降低罹患肠癌的风险,降低血浆胆固醇,调节胃肠功能及胰岛素水平等功能;大豆氨基酸评分较高,种类齐全,弥补天然大米蛋白质含量低,使重组米氨基酸构成比例合理,提高重组米中赖氨酸和蛋白质含量	[59—60]
3	马铃薯重组米	粘体蛋白、糖类、膳食纤维、维生素C、蛋白质、矿物质	预防人体心血管系统出现脂肪堆积而引发高血压、高血脂等;血糖生成指数适中,可作为糖尿病患者的食物;防治糖尿病;维生素C含量高于辣椒、西红柿、苹果等含量较高的果蔬;富含谷类食物中相对不足的赖氨酸、色氨酸;钾元素含量远高于其他主粮和果蔬	[61—64]
4	芋头重组米	黏液质内所含的特殊蛋白,含碱性物质,黏液蛋白,氟的保有量较高	在肿瘤术后食用可补虚健脾,辅助提升免疫功能和抑制癌细胞转移;恢复人体酸碱平衡,防止人体胃酸过多,帮助消化,起到补中益气作用,具有美容养颜、乌黑头发的作用;转化成人需要的免疫球蛋白,增强人体的抵抗能力;宽肠通便、散结解毒、疗热止渴、补中益肾、调节中气;美化牙齿,防止龋齿	[65—67]
5	玉米重组米	多不饱和脂肪酸、膳食纤维、花青苷类色素、玉米黄质	降血压,促进平滑肌收缩,扩张血管,防止动脉硬化;增加饱腹感,降血糖,降血脂,改善肠道菌群;清除自由基,减少过氧化物产生,抗肿瘤,抗衰老,护肤养颜;预防老年黄斑变性,抗癌症,明目和抗眼部老化,改善糖尿病并发症	[68—71]
6	莲子重组米	莲子糖蛋白、莲子多酚、莲子淀粉、莲子多糖、NN-B-4	抗氧化,清除自由基,抗衰老;降血糖,降血脂,改善肠道菌群;增强免疫,美白抗皱;抗炎,抗病毒	[72—73]

3 结语

目前,国内外制作重组米的原辅料主要有糙米、玉米、大豆、马铃薯和芋头等,主要探究重组米的糊化、质构、消化和老化等特性,其相关研究主要集中在原料差异、生产工艺、品质特性和改良等方面,现在多数的研究都趋于表面加工技术的研究,在营养成分对性质的影响方面的研究较少,以后可以加强对分子层面机理的研究。针对多项复合重组米的研究主要集中在低GI、低蛋白和营养重组米等方面,亟待进一步研究和开发低热量、低脂肪重组米。利用食物的营养成分是重组米多元化的必要趋势,纵观重组米的发展,从单螺旋挤压到双螺旋挤压技术,虽然其提高了产品的加工性能、食用特性,优化了重组米的制作工艺参数,但大多是通过调控大米组分配比以达到目的,由此可见重组米的制备工艺还有很大的提升空间。未来研究者主要可通过动物实验深入研究功能性重组米,可从人体的基因表达水平、代谢组学、肠道微生物等影响因素入手,进一步深入探究其机理。未来重组米的研究可向以上方向靠拢,且要提高和改善重组米的开发安全,研制出更健康、更优质、更具市场潜力的重组米产品。

参考文献:

- [1] 林雅丽,张晖,王立,等.挤压生产糙米重组米的研究[J].食品工业科技,2016,37(7):193—198.
LIN Ya-li, ZHANG Hui, WANG Li, et al. Study on the Preparation of Reformed Brown Rice by Extruding[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(7): 193—198.
- [2] 李娜,修琳,张浩,等.玉米重组米微波-热风联合干燥工艺优化[J].食品科技,2016,41(6):86—92.
LI Na, XIU Lin, ZHANG Hao, et al. Optimization of Corn Reformed Rice Dried by Microwave-Air Drying Combination[J]. Food Science, 2016, 41(6): 86—92.
- [3] KATO, KENDA. Soy-Based Rice Substitute: United States, WO2006041683[P]. 2006-04-20.
- [4] 雷婉莹,曾希珂,章丽琳,等.马铃薯全粉-碎米混合粉的糊化特性及其挤压重组米品质[J].食品工业科技,2018,39(17):94—98.
LEI Wan-ying, ZENG Xi-ke, ZHANG Li-lin, et al. Pasting Properties of Rice Powders Blending with Potato Granule and the Quality of Restructured Potato Rice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(17): 94—98.
- [5] 李迪,赤列旺姆,索朗普尺,等.不同添加剂对马铃薯重组米品质影响研究[J].农业科技与装备,2018(5):35—38.
LI Di, CHI Lie-wang-mu, SUO Lang-pu-chi, et al. Effect of Different Additives on the Quality of Potato Recombination Rice[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2018(5): 35—38.
- [6] 王霞,郭世龙,鹿保鑫,等.富硒芋头重组米的制备及其消化特性研究[J].现代食品科技,2019,35(8):142—152.
WANG Xia, GUO Shi-long, LU Bao-xin, et al. Preparation and Digestive Characteristics of Artificial Rice Supplemented by Selenium-Rich Taro[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(8): 142—152.
- [7] SU Chung-wen. Effects of Gggshell Powder Addition on the Extrusion Behaviour of Rice[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(2): 607—612.
- [8] SAADAT S, MOVAHHED S, CHENARBON H A. Effect of Guar and Arabic Gums on Qualitative Properties of Extruded Rice[J]. Journal of Food Process Engineering, 2019, 42(2): 401—414.
- [9] HARROW A D, MARTIN J W. Reformed Rice Product: US, 4325976 A[P]. 1982-04-20.
- [10] 易翠平,杨有望,高文明.蛋白组分对籼米粉糊化特性的影响机理探讨[J].现代食品科技,2016,32(7):97—102.
YI Cui-ping, YANG You-wang, GAO Wen-ming. Protein Fractions on Pasting Properties of Non-Waxy Rice Flour[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(7): 97—102.
- [11] 林楠,肖瑜,杨新标,等.麦芽糖对糯性谷物淀粉糊化和流变性质的影响[J].食品科学,2021,42(10):1—7.
LIN Nan, XIAO Yu, YANG Xin-biao, et al. Effect of Maltose on Gelatinization and Rheological Properties of Waxy Cereal Starch[J]. Food Science, 2021, 42(10): 1—7.
- [12] 熊善柏,赵思明.淀粉在过量水分下糊化机理研究[J].粮食与油脂,2001(9):2—4.
XIONG Shan-bai, ZHAO Si-ming. Study on Gelatinization Mechanism of Starch in Excess Water[J]. Cereals & Oils, 2001(9): 2—4.
- [13] 李兆钊,吴卫国,廖卢艳,等.挤压杂粮重组米糊化特性研究[J].食品与机械,2020,36(5):54—58.
LI Zhao-zhao, WU Wei-guo, LIAO Lu-yan, et al. Studies on Gelatinization Properties of Extruded Rice with Coarse Grains[J]. Food & Machinery, 2020, 36(5): 54—58.
- [14] PRAKASH O, WARD R, BENU A, et al. Parboiled Rice: Understanding from a Materials Science Approach[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 124: 173—183.
- [15] ALESSANDRA M, ROSITA C, GABRIELLA B, et al. Cooking Behavior of Rice Pasta: Effect of Thermal Treatments and Extrusion Conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 54(1): 229—235.
- [16] 徐晓茹,周坚,吕庆云,等.重组米品质特性影响因素研究[J].食品科技,2018,43(4):165—170.

- XU Xiao-ru, ZHOU Jian, LYU Qing-yun, et al. Study on Texture Characteristics of extruded Rice[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(4): 165—170.
- [17] 安红周, 金征宇, 赵晓文. 新型方便米食用品质的研究[J]. 食品科学, 2005(4): 145—149.
- AN Hong-zhou, JIN Zheng-yu, ZHAO Xiao-wen. Study on the Edible Quality of New Type Instant Rice[J]. Food Science, 2005(4): 145—149.
- [18] 谢天. 不同改性方法对挤压重组米原料品质影响及加工工艺参数的研究[D]. 吉林: 吉林农业大学, 2019: 19—51.
- XIE Tian. Study on the Influence of Different Modification Methods on the Quality of Extruded Recombination Rice and Processing Parameters[D]. Jilin: Jilin Agricultural University, 2019: 19—51.
- [19] 陈怡岑, 何欢, 杨华, 等. 粮谷重组米质构特性及其米粉品质特性的研究[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 199—204.
- CHEN Yi-qin, HE Huan, YANG Hua, et al. Study on the Texture Characteristics of Grain Remaking Rice and the Quality Characteristics of Rice[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(12): 199—204.
- [20] XINHUI M, JUN L, HANHAN H, et al. Four Types of Winged Yam (*Dioscorea Alata* L) Resistant Starches and Their Effects on Ethanol-Induced Gastric Injury in Vivo[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 85: 21—29.
- [21] ZHEN M, JOYCE I BOYE. Research Advances on Structural Characterization of Resistant Starch and Its Structure-Physiological Function Relationship: A Review[J]. 2018, 58(7): 1059—1083.
- [22] KANDASAMY S R, CHATTHA K S, VLASOVA A N, et al. Lactobacilli and Bifidobacteria Enhance Mucosal B Cell Responses and Differentially Modulate Systemic Antibody Responses to an Oral Human Rotavirus Vaccine in a Neonatal Gnotobiotic Pig Disease Model[J]. Gut Microbes, 2014, 5(5): 639—651.
- [23] MAIER T V, LUCIO M, LEE L H, et al. Impact of Dietary Resistant Starch on the Human Gut Microbiome, Metaproteome, and Metabolome[J]. MBio, 2017, 8(5): e0134317.
- [24] JOANNA K C, PAULINA G, MAX S C, et al. Is there a Relationship between intestinal Microbiota, Dietary Compounds, and Obesity[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 70: 105—113.
- [25] GONG Ling-xiao, CAO Wen-yan, CHI Hai-lin, et al. Whole Cereal Grains and Potential Health Effects: Involvement of the Gut Microbiota[J]. Food Research International, 2018, 103: 84—102.
- [26] ZHANG Bo-xun, YUE Ren-song, CHEN Yuan, et al. Gut Microbiota, a Potential New Target for Chinese Herbal Medicines in Treating Diabetes Mellitus[J]. Evidence Based Complementary & Alternative Medicine. 2019, 2019: 1—11.
- [27] 张欣, 徐慧. 挤压技术在谷类食品加工中的应用[J]. 河北农业科学, 2008(6): 90—111.
- ZHANG Xin, XU Hui. Application of Extrusion Technology on Grain Processing[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2008(6): 90—111.
- [28] 徐晓茹. 挤压对重组米理化特性影响研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2018: 20—37.
- XU Xiao-ru. Effect of Extrusion on Physical and Chemical Properties of Recombinant Rice[D]. Wuhan: Wuhan Technical Institute, 2018: 20—37.
- [29] 商金颖, 张博, 李喜宏, 等. 抗性淀粉对复合营养强化米质构和品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(15): 14—17.
- SHANG Jin-ying, ZHANG Bo, LI Xi-hong, et al. Effects of Resistant Starch on Texture and Quality of Compound Nutrition Strengthening Rice[J]. Food Research and Development, 2018, 39(15): 14—17.
- [30] 李学琴, 秦礼康, 朱怡. 挤压膨化与重组造粒茯苓复配谷物产品功能成分分析及淀粉体外消化特性评价[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 104—111.
- LI Xue-qin, QIN Li-kang, ZHU Yi. Analysis of Functional Components and Evaluation of in Vitro Starch Digestion Properties in Poria Cocos Compound Grain Products by Extrusion and Recombinant Granulation[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(9): 104—111.
- [31] 蔡乔宇, 徐晓茹, 周坚, 等. 不同辅料添加量对挤压重组米的消化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 16—20.
- CAI Qiao-yu, XU Xiao-ru, ZHOU Jian, et al. Effect of Different Additives on the Digestibility of Extruded Rice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 16—20.
- [32] 陈旭. 蛋白和脂质对淀粉消化特性的影响机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 79—93.
- CHEN Xu. Mechanism for the Digestion Properties of Starch Influenced by Lipid and Protein[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017: 79—93.
- [33] KING R A, NOAKES M, BIRD A R, et al. An Extruded Breakfast Cereal Made from a High Amylose barley Cultivar Has a Low Glycemic Index and Lower Plasma Insulin Response than one Made from a Standard Barley[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(2): 526—530.
- [34] ZHANG Y, LIU W, LIU C, et al. Retrogradation Behaviour of High-Amylose Rice Starch Prepared by Improved Extrusion Cooking Technology[J]. Food Chemistry, 2014, 158(1): 255—261.
- [35] WANG Chun-yan, ZHONG Geng, LIU Shu-li. Recent Advances in Application of Modified Starches for Breadmaking[J]. Grain Processing, 2007, 17(11): 591—599.
- [36] 沈汪洋, 晏梦婷, 孙威, 等. 糙米重组米的回生特性[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 61—65.

- SHEN Wang-yang, YAN Meng-ting, SUN Wei, et al. Retrogradation Properties of Restructured Brown Rice[J]. Food Science, 2016, 37(9): 61—65.
- [37] 方冲. 不同添加物对挤压重组米血糖生成指数及性质的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2018: 21—40.
- FANG Chong. Effects of Different Additives on Glycemic Index and Properties of Extruded Rice[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018: 21—40.
- [38] 肖瑜, 杨新标, 林楠, 等. 不同蛋白质对大黄米淀粉老化特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 45—51.
- XIAO Yu, YANG Xin-biao, LIN Nan, et al. Effects of Adding Different Proteins on Retrogradation Properties of Proso Millet Starch[J]. Food Science, 2020, 41(16): 45—51.
- [39] 乔聪聪, 吴娜娜, 陈辉球, 等. 谷物制品老化机理及其调控技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(4): 133—140.
- QIAO Cong-cong, WU Na-na, CHEN Hui-qiu, et al. Research Progress on the Mechanisms of Retrogradation and Technologies of Retrogradation Controlling of Cereal Products[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(4): 133—140.
- [40] 沈宇光. 含抗性淀粉的马铃薯重组米的制备及其性质研究[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2019: 11—27.
- SHEN Yu-guang. Preparation and Properties of Recombinant Rice of Potato with Antistarch[D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2019: 11—27.
- [41] 郭吉. 脂质对糙米重组米糊化回生特性的影响[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2016: 12—26.
- GUO Ji. The Lipid's Impact on Gelatinization and Retrogradation Properties of Restructuring in Brown Rice[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016: 12—26.
- [42] 刘小禾, 王宜崧, 张克, 等. 营养重组米的工艺优化及营养素对品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 329—332.
- LIU Xiao-he, WANG Yi-song, ZHANG Ke, et al. Process Optimization of Nutrient Restructured Rice and the Effect of Nutrients on Quality[J]. The Food Industry, 2020, 41(7): 329—332.
- [43] 张颖, 杨晓勇, 王波, 等. 营养重组米的研制[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(6): 36—39.
- ZHANG Ying, YANG Xiao-yong, WANG Bo, et al. Development of Nutritious Reformed Rice[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2014, 50(6): 36—39.
- [44] ENGLYST H N, VEENSTRA J, HUDSON G J. Measurement of Rapidly Available Glucose(RAG) in Plant Foods: a Potential in Vitro Predictor of the Glycaemic Response[J]. Br J Nutr, 1966, 75(3): 327—337.
- [45] ENGLYST K N, ENGLYST H N, HUDSON G J, et al. Rapidly Available Glucose in Foods: an in Vitro Measurement that Reflects the Glycemic Response[J]. AM J Clin Nutr, 1999, 69(3): 448—454.
- [46] 梁羽彤, 刘震远, 李喜宏, 等. 桑叶粉添加量对鲜榨米品质及降糖效果的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(5): 128—133.
- LIANG Yu-tong, LIU Zhen-yuan, LI Xi-hong, et al. Effect of Mulberry Leaf Powder Addition on the Quality and Sugar Reduction Effect of Recombination[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(5): 128—133.
- [47] 沈伟桥, 舒小丽, 张琳琳, 等. 加工型功能早籼稻新品种“浙辐 201”的选育与特性[J]. 核农学报, 2006(4): 312—314.
- SHEN Wei-qiao, SHU Xiao-li, ZHANG Lin-lin, et al. Development and Characteristics of Processing-Functional Indica Early Rice Cultivar “Zhefu 201”[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2006(4): 312—314.
- [48] 丁长河, 周林秀, 李晓林. 不同大米米饭碳水化合物消化速度的研究[J]. 河南工业大学学报, 2012(2): 57—62.
- DING Chang-he, ZHOU Lin-xiu, LI Xiao-lin. Study on Carbohydrate Digestion Speed of Rice with Different Rice[J]. Journal of Henan University of Technology, 2012(2): 57—62.
- [49] ALLEN J C, CORBITT A D, MALONEY K P, et al. Glycemic Index of Sweet Potato as Affected by Cooking Methods[J]. Open Nutrition Journal, 2012, 6(1): 1—11.
- [50] 刘成梅, 方冲, 刘云飞, 等. 不同添加物对挤压重组米血糖生成指数和理化性质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(3): 96—102.
- LIU Cheng-mei, FANG Chong, LIU Yun-fei, et al. Effects of different Additives on Glycemic Index and Physicochemical Properties of Extruded Rice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(3): 96—102.
- [51] FRANK H, GRAF J, AMANN-GASSNER U, et al. Effect of Short-Term High-Protein Compared with Normal-Protein Diets on Renal Hemodynamics and Associated Variables in Healthy Young Men[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2009, 90(6): 1509—1516.
- [52] GRETZ N, LASSERRE J J, HOCKER A, et al. Effect of Low-Protein Diet on Renal Function: are There Definite Conclusions from Adult Studies[J]. Pediatric Nephrology, 1991, 5(4): 492—495.
- [53] 吴丽, 罗舜菁, 刘成梅, 等. 改良挤压技术制备低蛋白质构米的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 214—219.
- WU Li, LUO Shun-jing, LIU Cheng-mei, et al. Preparation of Low Protein Texturized Rice by Improved Extrusion Cooking Technology[J]. Food & Machinery, 2012, 28(3): 214—219.
- [54] 刘春景, 肖志刚, 解铁民, 等. 低蛋白重组米关键制备技术及功能性评价[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(4): 33—37.

- LIU Chun-jing, XIAO Zhi-gang, XIE Tie-min, et al. Key Preparation Technology and Functional Evaluation of Low Protein Restructuring Rice[J]. *Cereals & Oils*, 2017, 30(4): 33—37.
- [55] 黄素雅, 钱炳俊, 邓云. 膳食纤维功能的研究进展[J]. *食品工业*, 2016, 37(1): 273—277.
- HUANG Su-ya, QIAN Bing-jun, DENG Yun. Research Progress of Dietary Fiber Function[J]. *The Food Industry*, 2016, 37(1): 273—277.
- [56] 张江帅, 谷克仁, 潘丽, 等. 谷维素提取及纯化方法研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2016, 29(8): 9—13.
- ZHANG Jiang-shuai, GU Ke-ren, PAN Li, et al. Research Progress on Extraction and Purification Methods of Oryzanol[J]. *Cereals&Oils*, 2016, 29(8): 9—13.
- [57] 马燕, 段双梅, 赵明. 富含 γ -氨基丁酸食品的研究进展[J]. *氨基酸和生物资源*, 2016, 38(3): 1—6.
- MA Yan, DUAN Shuang-mei, ZHAO Ming. Research Progress of Foods Richin Gamma-Aminobutyric Acid[J]. *Biotic Resources*, 2016, 38(3): 1—6.
- [58] 郭天一, 罗非君. 二十八烷醇生理功能研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(3): 26—30.
- GUO Tian-yi, LUO Fei-jun. Research Progress on Physiological Function of Octacosanol[J]. *Cereals & Oils*, 2017, 30(3): 26—30.
- [59] 佐兆杭. 大豆膳食纤维对糖尿病大鼠血糖、胰腺损伤及卵巢衰老的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019: 15—27.
- ZUO Zhao-hang. Effects of Soybean Dietary Fiber on Blood Sugar, Pancreas Injury and Ovarian Senescence in diabetic Rats[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2019: 15—27.
- [60] 董海洲, 郭承东. 全脂大豆粉对面包营养品质的影响[J]. *食品工业科技*, 1998(6): 3—5.
- DONG Hai-sheng, GUO Cheng-dong. Effect of Whole Fat Soybean Flour on Nutritional Quality of Bread[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 1998(6): 3—5.
- [61] MAKINEN S, KELLONIEMI J, PIHLANTO A, et al. Inhibition of Angiotensin Converting Enzyme I Caused by Autolysis of Potato Proteins by Enzymatic Activities Confined to Different Parts of the Potato Tuber[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(21): 9875—9883.
- [62] JOCKOVI N, FISCHER W, BRANDSCH M, et al. Inhibition of Human intestinal α -Glucosidases by Calystegines[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2013, 61(23): 5550—5557.
- [63] PERLA V, JAYANTY S S. Biguanide Related Compounds in Traditional Antidiabetic Functional Foods[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(2): 1574—1580.
- [64] 文丽. 马铃薯营养价值探讨[J]. *现代农业科技*, 2016(4): 293—294.
- WEN Li. Discussion on the Nutritional Value of Potato[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(4): 293—294.
- [65] 段文倩, 孙河龙, 金书情, 等. 芋头对癌症术后康复的食疗研究[J]. *临床医药文献电子杂志*, 2018, 5(85): 145—155.
- DUAN Wen-Qing, SUN He-long, JIN Shu-qing, et al. Dietary Therapy of Taro on postoperative Rehabilitation of Cancer[J]. *Journal of Clinical Medical*, 2018, 5(85): 145—155.
- [66] 绍贵. 秋食芋头正当时[J]. *中国生殖健康*, 2019(8): 50—51.
- SHAO Gui. Autumn Taro is the Season[J]. *Chinese Journal of Reproductive Health*, 2019(8): 50—51.
- [67] 段文倩, 孙河龙, 金书情, 等. 中医绿色药膳房—芋头的药食功效研究[J]. *中西医结合心血管病电子杂志*, 2018, 6(21): 26.
- DUAN Wen-Qing, SUN He-long, JIN Shu-qing, et al. Study on the Medicinal and edible Effects of Taro, a Green Medicinal Kitchen of Traditional Chinese Medicine[J]. *Cardiovascular Disease Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine*, 2018, 6(21): 26.
- [68] 娄爽爽. 黑玉米深加工农业产品价值开发与设计研究[D]. 上海: 东华大学, 2018: 21—36.
- LOU Shuang-shuang. Research on Value Development and Design of Deep Processing Agricultural Products of Black Corn[D]. Shanghai: Donghua University, 2018: 11—36.
- [69] ZHOU Hai-ying, ZHAO Xian-feng, ELIZABETH J J, et al. Serum Carotenoids and Risk of Age-Related Macular Degeneration in a Chinese Population Sample[J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2011, 52(7): 4338—4344.
- [70] MING C, BI, ROSEN, et al. Zeaxanthin Induces Apoptosis in Human Uveal Melanoma Cells through Bcl-2 Family Proteins and Intrinsic Apoptosis Pathway[J]. *Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine (eCAM)*, 2013, 2013: 1—12.
- [71] ZHOU Xiao-yan, GAN Tian, FANG Gao-xia, et al. Zeaxanthin Improved Diabetes-Induced Anxiety and Depression through Inhibiting Inflammation in Hippocampus[J]. *Metabolic Brain Disease*, 2018, 33(3): 705—711.
- [72] LIU C P, TSAI W J, LIN Y L. The Extracts from *Nelumbonucifera* Suppress Cell Cycle Progression, Cytokine Genes Expression, and Cell Proliferation in Human Peripheral Blood Mononuclear Cells[J]. *Life Sciences*, 2004(6): 699—716.
- [73] KUO Yu-chi, LIN Yun-lian, LIU Chi-peng. Herpes Simplex Virus Type Propagation in Hela Cells Interrupted by *Nelumbo Nucifera*[J]. *Journal of Biomedical Science*, 2005, 12(6): 1021—1034.