

富肌醇南瓜种质资源的创新与利用

杨红娟¹, 顾卫红¹, 唐庆久², 宋荣浩³, 马 坤¹

(¹上海市农业科学院园艺研究所/上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201106;

²上海市农业科学院食用菌研究所, 上海 201106; ³上海市农业科学院植物保护研究所, 上海 201106)

摘要: 采用杂交、回交与定向自交系统选育方法, 借助高效液相色谱检测技术, 创新育成一批富肌醇南瓜新种质, 并利用杂种优势技术, 育成富肌醇南瓜新品种一串红。经检测, 一串红的肌醇含量达 661mg/100g, 比普通南瓜品种高出 120% 以上; 多糖含量达 45.8mg/g, 比普通南瓜品种高出 30% 以上; 葡萄糖含量小于 50mg/g, 且鲜食品质好, 兼具丰产、抗病等优良性状, 春秋两季均可栽培, 适合糖尿病、高血压、高血脂等人群作为日常食疗保健食品。

关键词: 南瓜; 富肌醇; 功能型; 新种质; 育种

Innovation and Utilization for New Pumpkin (*Cucurbita moschata*) Germplasms with Inositol-Enriched Functional

YANG Hong-juan¹, GU Wei-hong¹, TANG Qing-jiu², SONG Rong-hao³, MA Kun¹

(¹Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences/ Shanghai Key Lab of Protected Horticultural

Technology, Shanghai 201106; ²Mushroom Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural

Sciences, Shanghai 201106; ³Plant Protection Research Institute, Shanghai

Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106)

Abstract: Aggregation breeding method was used to create the new pumpkin germplasm with high inositol that was analyzed with the HPLC technique. A new pumpkin cultivar ‘Yichuanhong’ was obtained. The contents of inositol and polysaccharide in the fruits of ‘Yichuanhong’ were 661mg/100g and 45.8mg/g, which were 120% and 30% higher than CK cultivars, respectively. The results also showed that this new cultivar had low reductive sugar, less than 50 mg/g. Therefore, it is suitable to be used in the daily diet treatment by the people with diabetic, hypertension, or heart disease. Besides, ‘Yichuanhong’ has good eating quality, high yield, and diseases resistance. This cultivar can be cultivated in both spring and autumn. ‘Yichuanhong’ has greatly increased the economic value of pumpkin as a traditional vegetable, and provided a safe and effective means to prevent diabetic, hypertension, or heart diseases.

Key words: Pumpkin(*Cucurbita moschata*); Inositol-enrich; Health function; New germplasm; Breeding

南瓜的食疗保健价值已被世界所公认^[1-3], 对其功能研究的重点是在糖尿病的防治方面^[4-6]。国内外有关研究一致认为, 南瓜中具有较高降血糖活性的功能成分为南瓜多糖^[7-8]。大量的研究也证明, 南瓜多糖具有降糖、降脂等功效^[9-11]。近两年, 国际上在开发治疗糖尿病新药的一个重大突破是发

现了一类特异分子(D-chiro-Inositol), 简称肌醇, 其在胰岛素作用的信号传递过程中扮演了重要角色^[12-13]。经检测, 首次发现南瓜中也富含该类特异功效肌醇分子(D-chiro-Inositol)^[14], 经动物试验证实该特异功效肌醇分子具有降脂、降糖作用^[15]。

初步研究发现, 不同南瓜品种果实中肌醇和多

收稿日期: 2011-02-20 修回日期: 2011-10-17

基金项目: 上海市科技攻关计划项目(043919315); 上海市科技兴农重点攻关项目[农科攻字(2000)第1-5号]; 上海市科技兴农重点攻关项目[农科攻字(2001)第1-3号]

作者简介: 杨红娟, 学士, 副研究员。研究方向: 特色瓜菜新品种选育与栽培。E-mail: yanhj325@sohu.com

通讯作者: 顾卫红, 硕士, 研究员。研究方向: 特色瓜菜种质创新及遗传育种。E-mail: guwh518@yahoo.com.cn

糖等特异功效成分的含量差异较大^[16],且含量高低表现加性遗传特性,有利于选育出高肌醇和高多糖含量的南瓜新品种。由于大多数普通南瓜品种的肌醇或多糖含量偏低,而葡萄糖含量偏高,不利于糖尿病患者食用;而一些肌醇或多糖含量高的南瓜品种又存在农艺性状差、不能直接种植利用等缺陷^[17]。本研究在广泛收集研究国内外各类南瓜品种资源的基础上,采用阶梯式杂交、修饰回交与定向自交系统选育方法,借助生化分析手段,创制可供育种直接利用的富肌醇南瓜新种质,并利用杂种优势技术,选育富肌醇和多糖、低葡萄糖兼具优质、丰产、抗病抗逆性状的功能保健型南瓜新品种。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

供试材料为国内外收集的 86 份南瓜品种资源及中间材料。1995-2005 年,对收集获得的各南瓜品种资源进行大田综合农艺性状的观察和自交提纯复壮,同时借助高效液相色谱技术,检测各品种果实中的肌醇含量,参照米糠和安利保健品中肌醇的含量指标^[17],初步选出 18 份具有较高肌醇含量、兼具不同优异农艺性状的鲜食南瓜品种资源,初步构建出富肌醇南瓜目标性状基因库。

根据各品种的品质、产量、抗病、抗逆性表现,将 18 份南瓜品种资源分成 4 类(图 1)。根据种质创新选育目标,用肌醇含量较高的南瓜种质资源与具有优质、抗病性状的南瓜种质资源进行复合杂交,再通过修饰回交和连续自交定向系统选育手段,向高肌醇种质中逐步转育富肌醇南瓜新种质所需的丰产、抗病农艺性状,育成肌醇含量高,兼具优质、丰产、抗病等不同优异农艺性状的南瓜新品系。再利用南瓜杂种优势技术,通过品系间的配合力测定和杂种优势鉴定,筛选肌醇含量高兼具优质、丰产、抗病性状的南瓜新品种。整个选育研究过程在上海和海南两地交替进行,上海每年进行春秋两季的大棚种植筛选,海南再越冬加代一季。经过 10 年 20 多个世代的选育研究,创新育成一批富肌醇南瓜新种质及富肌醇功能保健型南瓜新品种一串红。

1.2 肌醇、多糖和葡萄糖的测定方法

南瓜果实中肌醇和葡萄糖的提取和测定采用高效液相色谱技术,仪器为美国 WateM510 泵, Waters 示差检测器,色谱柱为型号 Pinnade-II 的氨基糖柱,肌醇标样纯度为 99.0%,由 Sigma 公司提供。精确称取一定量的肌醇标样,配制成浓度为 5.0mg/ml、

10.0mg/ml、15.0mg/ml、20.0mg/ml、30.0mg/ml 的系列标准溶液,进行 HPLC 测定,以肌醇峰面积(Y)对标准溶液(X)进行线性回归处理,得到回归方程 $Y = -932.5 + 3.97x$ ($r^2 = 0.9998$),表明肌醇在 5 ~ 30mg 的范围内线性关系良好。经稳定性试验,肌醇的 RSD 为 0.2%,稳定性良好。加样回收率分析,肌醇回收率为 100%,RSD 为 3.4%。测试样品的处理:精确称取南瓜样品 0.5g,加 15% 乙醇超声处理 30min,定容至 100ml,放置过夜,称上清液过 0.2 μ m 膜,备用。色谱条件:提取流动相为 15% 甲醇,流速 1.0ml/min,进样量为 10 μ l。同一样品重复测定 4 次,分析结果以峰高值计算。南瓜多糖的测定采用苯酚-硫酸分光光度法。

2 结果与分析

2.1 富肌醇南瓜新种质的选育

2.1.1 富肌醇南瓜中间材料的杂交转育 以高肌醇含量的南瓜品种甜布丁(*C. moschata*)和小茄克(*C. moschata*)为核心亲本材料,与具优质、丰产性状的南瓜品种桔瓜(*C. moschata*)、小糖罐(*C. maxima*)和贝贝(*C. maxima*)等进行复合杂交,再对其 F₁ 进行自交,并自 F₂ 起按优质、抗病、丰产的目标农艺性状进行连续自交定向选择,同时对分离后代进行肌醇含量的检测淘汰,获得富肌醇兼具抗病抗逆性状的中间材料 PP0133,富肌醇和多糖兼具优质性状的中间材料 PP0117,同时获得优质丰产中间材料 PP-4 和抗病丰产中间材料 PP-7(图 1)。

对各目标中间材料进行大田试种观察和室内检测分析,发现中间材料 PP0133 果实中肌醇的含量高达 15.99mg/g,葡萄糖含量低于 10%,植株长势强盛,抗病抗逆性强,但坐果性差、产量低、鲜食品质差。而 PP0117 果实中肌醇的含量高达 11.2mg/g,连续坐果能力强,丰产性好,鲜食品质好,但果实中葡萄糖含量高达 175.86mg/g,抗病抗逆性差。中间材料 PP-4 和 PP-7 的综合农艺性状表现较好,但果实中肌醇含量明显偏低,必须进一步改良这些中间材料的农艺性状。

2.1.2 富肌醇南瓜中间材料 PP0133 的改良 根据 PP0133 的缺点,进一步采取杂交和定向自交的方法,从中间材料 PP-4 中导入优质、丰产基因,获得杂交后代 P4-1-1。为保持 PP0133 的高肌醇、低葡萄糖和抗病抗逆性状,将 P4-1-1 与 PP0133 回交一代后,再对分离后代按优质、抗病、丰产的方向连续自交定向选择,并借助高效液相色谱技术对分离后代

进行肌醇和葡萄糖含量的大量检测淘汰,于 F_5 育成高肌醇、低葡萄糖含量的优质、丰产型自交新品系 P4-1-3。

2.1.3 富肌醇南瓜中间材料 PP0117 的改良 根据 PP0117 的缺点,进一步采取杂交和定向自交的方法,从抗病、优质中间材料 PP-7 中导入所需的低葡萄糖和抗病基因,获得复交后代 P7-1-2。为提高 P7-1-2 的肌醇含量,用 P7-1-2 与 PP0133 杂交后,再对分离后代按抗病、优质的方向连续自交定向选择,并借助高效液相色谱技术对分离后代进行肌醇和葡萄糖含量的大量检测淘汰,于 F_6 育成富肌醇、低葡萄糖含量的丰产、抗病性较强的自交新品系 P7-2-1 和 P12-1-3。

表 1 富肌醇南瓜新种质的主要农艺性状

Table 1 The main agricultural characters new pumpkin germplasms with enriched-inositol

品系 Cultivar	类型 Type	抗病性 Disease resistance		单株坐果数 No. of fruits per plant	单果重(kg) Fruit weight	鲜食品质 Quality	肌醇(mg/g) Inositol	葡萄糖(mg/g) Glucose
		白粉病 Powder mildew	病毒病 Virus					
PP0133	<i>C. pepo</i>	R	MR	1	1.27	poor	15.99Aa	63.92Dd
PP0117	<i>C. pepo</i>	LS	S	3~4	0.37	Good	13.71Aa	175.86Aa
PP-4	<i>C. pepo</i>	S	S	5~6	0.22	Best	4.16Bb	137.68Bb
PP-7	<i>C. pepo</i>	R	MR	5~6	0.32	Mid.	4.87Bb	27.33Ee
P4-1-3	<i>C. pepo</i>	LS	LS	3~4	0.25	Good	16.44Aa	96.19Cc
P7-2-1	<i>C. pepo</i>	MR	LS	5~6	0.25	Best	14.43Aa	55.86Dd
P12-1-3	<i>C. pepo</i>	MR	LS	5~6	0.35	Best	12.75Aa	76.48CDed

R: 抗病; LS: 轻感; S: 感病; MR: 中抗; HS: 高感; 大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著; 下同

R: disease resistance LS: light susceptible S: susceptible MR: middle resistance HS: high susceptible capital or small letters mean significant different at 0.01 or 0.05 level the same as below

2.2 富肌醇南瓜新种质的利用

2.2.1 富肌醇南瓜新组合的测配与鉴定 2004 年春,以 P4-1-3 为母本,以 P7-2-1 和 P12-1-3 为父本,配制组合 P0426-7 和 P0426-11。2004 年秋将新组合安排在上海市农业科学院园艺试验场进行了三重复评比鉴定试验,新组合 P0426-7 表现鲜食口感品质好,坐果率高,果实大,综合抗病(白粉病和病毒病)性强,主要农艺性状达到育种目标。2005-2006 年进行了多点区试评比鉴定,2006-2007 年进行了多点生产示范试验,区试和生试结果均表明,该新组合比对照台湾金童增产显著,且表现果型正,皮色亮,鲜食品质佳。2007 年 8 月通过上海市农作物品种审定委员会的审定,定名为一串红,选育程序见图 1。

2.2.2 果实品质特征 该新品种的果实上横径约

2.1.4 富肌醇南瓜新种质主要农艺性状表现 各中间材料及新种质的主要农艺性状鉴定结果见表 1。由表 1 可以看出,新种质 P4-1-3 的肌醇含量高达 16.44mg/g,稍高于其亲本中间材料 PP0133,果实中葡萄糖含量低于 100mg/g,其鲜食品质和坐果性等优于其亲本中间材料 PP0133。新种质 P7-2-1 和 P12-1-3 的肌醇含量分别高达 14.43mg/g 和 12.75mg/g,而葡萄糖含量分别为 55.86mg/g 和 76.48mg/g,均低于 100mg/g,其鲜食品质、丰产性和抗病性等均优于其亲本中间材料 PP0117。这些育成新种质富肌醇兼具不同优良农艺性状,可直接用于杂交南瓜新品种的选育和亲本种质的进一步改良。

7cm,下横径约 10cm,纵径 7~8cm,果蒂平,宝塔形。果皮橙黄底覆 10 条橙红浅棱沟,肉厚 1.51cm,肉质粉糯、微甜,口感品质佳。对照金童的果实上下横径约 8.5cm,纵径 5~6cm,果蒂部稍凹,呈扁球形。果皮橙黄色,无棱沟,肉厚 1.38cm,肉质偏粘,甜度高,口感品质中。

2.2.3 抗病性 历年多点区试抗病性调查结果见表 2。2005 年各试点的白粉病发病率为 47.2%,病毒病的发病率为 35.9%;2006 年各试点白粉病的发病率为 53.3%,病毒病的发病率为 31.3%;2007 年各试点白粉病的发病率为 49.5%,病毒病的发病率为 43.8%,均比对照金童发病轻,综合抗病性较强。白粉病抗性分级采用 0~9 级分级标准: 0 级: 无伤害;1~2 级: 0~30% 叶面病斑,叶背面无病斑;3~4 级: 31%~50% 叶面病斑,叶背面病斑 <10%;

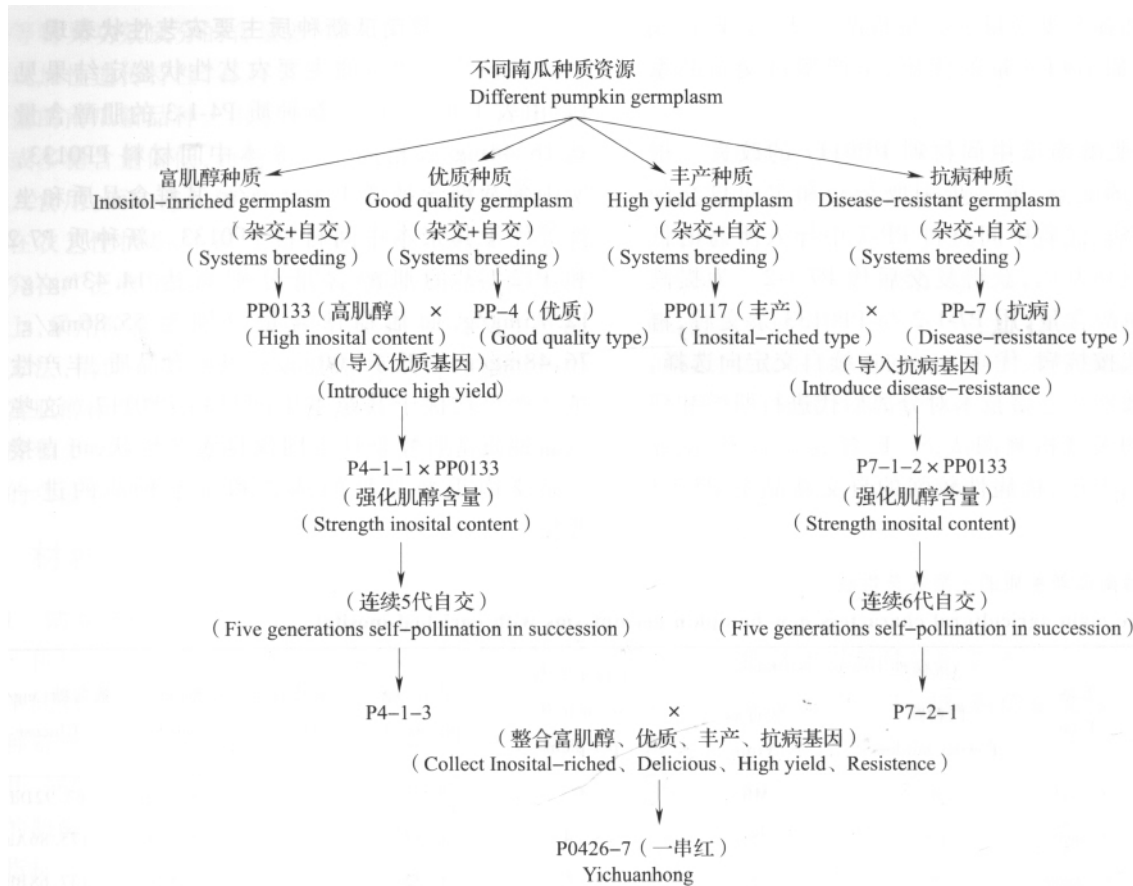


图 1 一串红南瓜的选育程序

Fig. 1 Breeding process of Yichuanhong in pumpkin

5 ~ 6 级: 51% ~ 70% 叶面病斑, 叶柄上也出现少量病斑; 7 ~ 8 级: 71% ~ 90% 叶面病斑; 9 级: 90% 以上叶面病斑; 抗性在 0 ~ 2 的为抗性强, 其他为易感病。病毒病抗性分级采用 0 ~ 5 级分级标准: 0 级: 无症状; 1 级: 0 ~ 20% 叶面花叶; 2 级: 21% ~ 40% 叶面花

叶; 3 级: 41% ~ 60% 叶面花叶; 4 级: 61% ~ 80% 叶面花叶, 果实畸形; 5 级: 81% ~ 100% 叶面花叶, 果实严重畸形; 抗性在 0 ~ 2 的为抗性强, 其他为易感病。

表 2 一串红的抗病性表现

Table 2 The disease resistance of Yichuanhong in the regional trial of Shanghai

年份 Year	试验类型 Trial type	品种 Cultivars	白粉病 Powder mildew		病毒病 Virus	
			病情指数	抗性分级	病情指数	抗性分级
			DI	Resistance grade	DI	Resistance grade
2005	上海市区试	一串红	47.2	LS	35.9	LS
		金童(CK)	83.6	HS	77.6	S
2006	上海市区试	一串红	53.3	LS	31.3	LS
		金童(CK)	90.1	HS	75.7	S
2007	上海市生产试验	一串红	49.5	LS	43.8	S
		金童(CK)	85.2	HS	77.3	S

2.2.4 产量表现 历年多点区试和生产试验产量调查结果见表 3。由表 3 可以看出, 2005 年各试点

一串红的平均产量为 22.59t/hm², 比对照金童增产 24.5%。2006 年各试点一串红的平均产量为

20.43t/hm², 比对照金童增产 18.3%, 经方差分析, 增产极显著。2007 年生产试验各试点一串红的平均产量为 22.22t/hm², 比对照金童增产 21.6%, 增

产极显著。各试点试验表明: 一串红比对照金童的植株长势强健, 坐果率高, 单果重大, 果实商品性好, 商品产量明显高于金童。

表 3 一串红的产量表现

Table 3 The yield of Yichuanhong in the regional trial of Shanghai

年份 Year	试验类型 Trial type	品种 Cultivar	平均产量(t/hm ²) Average yield	比对照产量 ± (%) Yield increase rate over CK
2005	上海市区试	一串红	22.59A	24.5**
		金童(CK)	17.06B	
2006	上海市区试	一串红	20.43A	18.3**
		金童(CK)	16.70B	
2007	上海市生产试验	一串红	22.22A	20.6**
		金童(CK)	17.64B	

** 和不同字母代表两个品种产量在 0.01 水平差异极显著

** and different letters stands significant difference at 0.01 level for yield of two varieties

2.2.5 功效成分含量 对 80 多份南瓜品种资源果实中肌醇、多糖和葡萄糖含量的检测分析表明, 普通南瓜肌醇含量在 200 ~ 400mg/100g 之间, 平均 300mg/100g; 多糖含量在 25 ~ 45mg/g 之间, 平均 35mg/g; 葡萄糖含量在 10 ~ 208mg/g。经委托上海市医学防疫研究院保健食品功能成分检测中心对一串

红南瓜原粉的检测分析, 一串红的肌醇含量达 661mg/100g, 多糖含量达 45.8mg/g(表 4), 分别比普通南瓜高出 50% 及 30% 以上。而葡萄糖含量为 37.2mg/g, 属于低糖型品种(小于 50mg/g)。该系列功能成分的检测结果表明, 一串红南瓜新品种适合糖尿病、高血压、高血脂等人群作为日常食疗保健食品。

表 4 一串红的肌醇、多糖和葡萄糖含量

Table 4 The contents of inositol, polysaccharide and reductive sugar in Yichuanhong

品种 Cultivar	来源 Source	类型 Classifical type	肌醇(mg/100g) Inositol	多糖(mg/g) Polysaccharide	葡萄糖(mg/g) Glucose
一串红	自育	中国南瓜 × 印度南瓜	661	45.8	37.2
黄狼(CK)	地方品种	中国南瓜	392	38.8	150.5
爱碧斯(CK)	日本	印度南瓜	317	45.4	55.4

3 讨论

3.1 富肌醇南瓜种质创新的意义

选育功能型保健、专用作物或蔬菜新品种是当今世界作物育种研究的新潮流, 但对于一个功能型保健蔬菜品种的开发能否取得成功, 主要决定于其功效性、安全性和广泛性^[1-4]。南瓜是深受国内外消费者喜爱的传统特色蔬菜, 我国的栽培面积有逐年扩大的趋势。富肌醇功能型南瓜新品种的选育研究在国内外鲜见报道, 富肌醇南瓜新品种的育成实现了功能保健型南瓜育种的突破。该品种经权威机构检测, 富含肌醇和多糖, 具有良好的食疗保健作用, 且鲜食口感品质好, 丰产潜力大, 抗病抗逆性强, 栽培适应性广, 与国内外同类品种相比, 具有显著的

功效性、安全性和广泛性。

3.2 富肌醇南瓜新品种的市场开发前景

糖尿病是一个发展迅速、严重危害人民身体健康的疾病, 根据目前众多学者对南瓜果肉中特异功效分子的临床应用研究, 其在糖尿病、高血脂、肥胖症、肿瘤等疾病(均由胰岛素抵抗性所引起)上具有明显促进康复作用的效果^[8-9, 11]。一串红南瓜的育成不仅显著提高了传统蔬菜南瓜的附加值, 同时给人们提供一种安全、有效地预防疾病的途径, 该品种具有广阔的市场开发前景。

肌醇是人体重要营养元素, 国际上将肌醇作为一种营养加强剂添加到保健品及婴儿食品中, 并用作治疗脂肪肝和肝硬化^[18]。最新研究则发现, 肌醇在人体胰岛素作用的信号传递过程中扮演了重要角

色,并已作为治疗糖尿病的新药进行开发^[19-20]。有关南瓜果实中肌醇的积累规律和遗传机制尚待进一步研究。

参考文献

- [1] Oyeibiodun G L, Gabriel O F, Babatunde L F. Nutritional value of the fluted pumpkin (*Telfaria occidentalis*) [J]. J Agric Food Chemistry, 1983, 31: 898-992
- [2] Fahmim A T, Fattan E I. Effect of pumpkin seed oil on the level of free radical scavenger induced during adjuvant arthritis in rats [J]. Pharmacol Res, 1995, 31: 73-79, 52
- [3] 黄黎慧, 黄群, 于美娟. 南瓜的营养保健价值及产品开发 [J]. 现代食品科技, 2005, 21(3): 176-179
- [4] 卢运超, 黄兆峰. 南瓜粉冲剂的研制及临床应用 [J]. 时珍国药研究, 1997, 8(3): 264-265
- [5] 白学敏, 张雪萍. 复方南瓜粉对糖尿病模型小鼠肾脏的保护作用 [J]. 健康和医学, 2006, 25(7): 616-618
- [6] 李全宏, 田泽, 蔡同一. 南瓜提取物对糖尿病大鼠降糖效果研究 [J]. 营养学报, 2003, 25(1): 35-37
- [7] Fu C L, Tian H J, Cai T Y, et al. Some properties of an acidic protein-bound polysaccharide from the fruit of pumpkin [J]. Food Chemistry, 2007, 100(3): 944-947
- [8] 熊学敏, 石扬. 南瓜多糖降糖有效部位的提取分离及降血糖作用的研究 [J]. 中成药, 2000, 8(22): 563-565
- [9] 徐国华, 韩志红, 吴永方, 等. 南瓜多糖的抑制瘤作用及对红细胞免疫功能的影响 [J]. 武汉市职工医学院学报, 2000, 28(4): 1-4
- [10] 张拥军, 姚惠源. 南瓜活性多糖的降糖作用及其组分分析 [J]. 无锡轻工业大学学报, 2002, 21(2): 173-175
- [11] 孔庆胜, 王彦英, 蒋滢. 南瓜多糖的分离、纯化及降血脂作用 [J]. 中国生化药物杂志, 2000, 21(3): 130-132
- [12] Brautigan D L, Brown M, Grindrod S, et al. Allosteric activation of protein phosphatase 2C by D-chiro-inositol-galactosamine, a putative mediator mimetic of insulin action [J]. Biochemistry, 2005, 44(33): 67-73
- [13] Richard E, Ostlund J R, Janet B, et al. D-chiro-inositol metabolism in diabetes mellitus [J]. Medical Sci, 1993, 90: 9988-9992
- [14] Tao X, Qin W. D-chiro-inositol found in *Cucurbita ficifolia* (Cucurbitaceae) fruit extracts play the hypo-role in streptozotocin-diabetic rats [J]. J Pharm Pharmacol, 2006, 58(11): 1527
- [15] 夏涛, 刘华奇. 一种具有降糖降脂作用的含苦瓜、南瓜提取物的产品, 03115121. 3 [P/OL]. [2003-01-23]. <http://www.wanfangdata.com.cn/>
- [16] 杨红娟, 宋荣浩, 马坤, 等. 南瓜果实发育中肌醇、多糖和葡萄糖含量的变化 [J]. 园艺学报, 2008, 35(1): 127-130
- [17] 杨红娟, 顾卫红, 唐庆久, 等. 富肌醇南瓜种质资源的筛选与评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(1): 94-98
- [18] 孙灵霞, 陈锦屏. 肌醇生产、应用研究及前景展望 [J]. 粮食与油脂, 2004(1): 5-8
- [19] 曹文明, 张燕群, 苏勇. 荞麦性肌醇提取及其降糖功能研究 [J]. 粮食与油脂, 2006(1): 22-24
- [20] 巴建明, 李江源. 新型胰岛素增敏剂右手性肌醇作用机理及临床应用 [J]. 实用糖尿病杂志, 2007, 3(2): 4-5

(上接第 142 页)

- [12] Li G Y, He Z H, Lillemo M, et al. Molecular characterization of allelic variations at Pina and Pinb loci in Shandong wheat landraces, historical and current cultivars [J]. Cereal Sci, 2008, 47: 510-517
- [13] 张林, 樊庆琦, 隋新霞, 等. 山东小麦品种抗白粉病基因的分子鉴定 [J]. 麦类作物学报, 2008, 28(5): 905-911
- [14] 蔡建成, 曹桂兰, 束爱萍, 等. 水稻地方品种铁含量的差异评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(1): 55-59
- [15] 陆懋曾. 山东小麦遗传改良 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 8-14
- [16] Holm P B, Kristiansen K N, Pedersen H B. Transgenic approaches in commonly consumed cereals to improve iron and zinc content and bioavailability. Symposium: Plant Breeding: A New Tool for Fighting micronutrient malnutrition [J]. J Nutri, 2002, 132(S): 514-516
- [17] Gregerio G B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops [J]. J Nutri, 2002, 132(S): 500-502
- [18] Distelfeld A, Cakmak I, Pelega Z, et al. Multiple QTL effects of wheat Gpc-B1 locus on grain protein and micronutrient concentrations [J]. Physiol Plant, 2007, 129: 635-643
- [19] 高小宽, 黄亚群, 陈景堂. 玉米自交系籽粒中锌和铁含量的配合力分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1): 1672-1810
- [20] Welch R M. Breeding strategies for biofortified staple plant food to reduce micronutrient malnutrition. Globally Symposium: Plant Breeding: A new tool for fighting micronutrient malnutrition [J]. J Nutri, 2002, 132(S): 495-499

(上接第 156 页)

- [5] 朴永浩, 曲柏宏, 代志国, 等. 梨花粉贮藏特性与授粉能力的研究 [J]. 北方园艺, 2002(5): 54-55
- [6] 张绍铃, 平伸. 梨花柱 S 糖蛋白对离体花粉萌发及花粉管生长的影响 [J]. 园艺学报, 2000, 27(4): 251-256
- [7] 林真二. 果树栽培生理新書・梨 [M]. 日本: 朝倉書店, 1960: 35
- [8] Norman F, Childers. Modern Fruit Science [M]. Gainesville Florida: Horticultural publications, 1978: 243-244
- [9] 王强生, 石荫坪. 大鸭梨的组织学和细胞学研究 [J]. 中国农业科学, 1994(4): 33-38
- [10] 何天明, 张琦. 新梨 7 号小孢子败育的解剖学观察 [J]. 果树学报, 2002, 19(2): 94-97
- [11] 边卫东, 邓艳华, 朱育贤, 等. 黄金梨胚珠、花粉发育及花粉败育过程的显微观察 [J]. 果树学报, 2006, 23(2): 290-292
- [12] 胡静静, 赵静, 沈向. 黄金梨雄性不育的细胞学研究 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(2): 185-188
- [13] 袁德义, 谭晓风, 张琳, 等. 新高系梨雄性不育的鉴定 [J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 289-294
- [14] 王钦丽, 卢龙斗, 吴小琴. 花粉的保存及其生活力测定 [J]. 植物学通报, 2002, 19(3): 365-373
- [15] 孙爱芹, 韩斌, 彭建营, 等. 不同枣品种花粉生活力及贮藏方法研究 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 166-168
- [16] 陈延惠, 李洪涛, 翟玉勤, 等. 猕猴桃花粉生活力及其贮藏性的研究 [J]. 河南农业大学学报, 1996, 30(2): 175-177
- [17] 杨磊, 廖康, 许正, 等. 新疆野苹果花粉活力的研究初报 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 335-338
- [18] 廖康, 李会芳, 许正, 等. 野生樱桃李花粉活力与授粉结实特性初报 [J]. 新疆农业科学, 2008, 45(3): 393-397