

不同来源淀粉对断奶仔猪血浆葡萄糖和胰岛素水平的影响

刘建高^{1,2}, 张平¹, 宾石玉³, 黄瑞林¹, 李铁军¹, 印遇龙^{1,*}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049 3. 广西师范大学生命科学学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 研究采食不同来源淀粉(糯米淀粉、糙米淀粉、玉米淀粉和抗性淀粉 Hi-Maize1043)对断奶仔猪血糖和胰岛素水平的影响。结果表明: 断奶仔猪采食不同淀粉来源日粮后, 血糖和胰岛素变化的速度和幅度以及胰岛素/血糖比值都以糯米组最大, 糙米组次之, 玉米组较低, 抗性淀粉组最小。得出结论: 不同来源淀粉在断奶仔猪体内的消化吸收状况不一致, 对食后血糖的调节也存在差异, 慢消化淀粉和抗性淀粉有利于维持血糖稳态和降低胰岛素分泌。

关键词: 淀粉; 断奶仔猪; 血糖; 胰岛素

Effects of Different Dietary Starch Constituents on Level of Blood Glucose and Insulin of Weaned Piglets

LIU Jian-gao^{1,2}, ZHANG Ping¹, BIN Shi-yu³, HUANG Rui-lin¹, LI Tie-jun¹, YIN Yu-long^{1,*}

(1. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410025, China

2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: The experiment was conducted to determine the effects of different starch constituents (sticky rice, brown rice, corn, RS Hi-Maize1043) on the level of blood glucose and insulin of weaned piglets. The results showed that with the different starch constituents, the variation of blood glucose and insulin of pigs is discrepant during the postprandial periods as the changing rate and the extent of blood glucose and insulin and the insulin/glucose ratio of sticky rice group is the greatest, while the brown rice group ranks the second, the corn group the third, and the RS group the least. Conclusion: the digestion and absorption of starch of different starch sources are different, in causing the different regulations of blood glucose. The slowly digested starch and RS were beneficial to maintain the steady-state of blood glucose and reduce the secretion of insulin.

Key words: starch; weaned piglet; glucose; insulin

中图分类号: TS23

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)03-0315-05

淀粉不仅是人类膳食中的主要碳水化合物,也是畜禽所需能量的重要来源(40%以上)。越来越多的研究表明,淀粉由于来源、组成和结构不同在动物和人体内消化吸收特性存在差异^[1-4],不同类型和结构的淀粉食后引起不同的血糖和胰岛素反应。但目前关于不同来源谷物饲料淀粉的含量和组成的差异是否影响猪消化道葡萄糖的释放和吸收还少见报道。本文以断奶仔猪为研究对象,研究玉米、糯米、糙米三种常见的谷物中淀粉和抗性淀粉对血糖和胰岛素的影响,以了解不同来源淀粉在断奶仔猪的消化吸收特性,为合理利用谷物淀粉资源

提供理论依据;另一方面鉴于猪与人的消化有许多相似之处,因此本研究对指导人的糖尿病治疗、平衡人类膳食以及功能食品开发具有重大科学价值。

1 材料与方法

1.1 动物与试验设计

选择28±2d的杜×长×大三元杂交断奶仔猪48头,采用单因子试验设计,随机分为4个处理,每个处理12头猪,分别饲喂玉米、糙米、糯米与抗性淀粉(RS)日粮。

1.2 日粮

收稿日期: 2006-03-31

*通讯作者

基金项目: 国家973项目(2004CB117502); 国家自然科学基金资助项目(30371038); 中国科学院知识创新资助项目(KSCXZ-SW-323)

作者简介: 刘建高(1982-),男,硕士研究生,研究方向为单胃动物营养。

4 种试验日粮分别选用玉米(产于河南)、早籼稻糙米(产于长沙)、糯米(产于江西)和抗性淀粉(Hi-Maize 1043, 购于美国国民淀粉公司)作为淀粉来源。日粮营养水平参照 NRC(1998) 10~20kg 阶段生长猪营养需要, 4 种日粮 GE、CP、CF、EE、TS、Lys、Met+Cys 及 Thr 的含量基本一致, 具体见表 1。

表1 试验日粮组成和营养水平(%)

Table 1 Ingredients and nutrient levels of experimental diets(%)

原料	玉米日粮	糙米日粮	糯米日粮	RS 日粮
玉米	47.08			
玉米淀粉(86%)	11.3			
糙米		60.18		
糯米			60.2	
玉米蛋白粉	1.99			8.5
抗性淀粉(Hi-Maize1043)				50.3
豆粕	18.5	18.5	18.5	18.5
血浆蛋白粉	4	4	4	4
鱼粉	5	5	5	5
乳清粉	5	5	5	5
豆油	3	3	3	3
CaCO ₃	0.37	1.04	1.02	0.41
CaHPO ₃	1.55	0.43	0.44	1.46
NaCl	0.3	0.3	0.3	0.3
预混料	1	1	1	1
L-Lys(78%)	0.3	0.14	0.14	0.37
DL-Met(98%)	0.12	0.12	0.12	0.16
L-Thr(98%)	0.06	0.01	0.01	0.08
稻谷壳粉	0.33	0.58	0.9	1.3
膨润土	0.1	0.7	0.37	0.62
营养水平				
总能(kJ/g)	16.12	16.28	16.01	16.02
粗蛋白质 CP	19.85	19.86	20.07	19.98
Lys	1.35	1.35	1.35	1.35
Meth+Cys	0.76	0.76	0.76	0.76
Thr	0.86	0.86	0.86	0.86
总淀粉	38.73	38.63	38.90	39.20
粗脂肪	4.25	4.29	4.19	4.09
粗纤维	2.07	2.07	2.04	2.06
灰分	5.33	5.79	5.09	5.26

试验用不同谷物饲料和不同试验日粮的淀粉中直链和支链淀粉比例及抗性淀粉和非抗性淀粉比例不同, 具体的淀粉含量及组成见表 2、3。

1.3 饲养管理

表2 不同来源饲料淀粉的组成(%)

Table 2 Analyzed composition of different starch sources(%)

淀粉来源	玉米	糙米	糯米	RS Hi-Maize, 1043
抗性淀粉	3.89	1.52	0	44.98
非抗性淀粉	59.34	63.62	66.18	34.38
直链淀粉	18.67	17.58	0	94.6
支链淀粉	81.33	82.42	100	5.4
直链淀粉/支链淀粉	0.23	0.21	0	17.52
总淀粉	63.23	65.14	66.18	79.36

注: * 占总淀粉的百分比。

表3 试验日粮的淀粉组成(%)

Table 3 Analysed starches' composition of experimental diets(%)

	玉米日粮	糙米日粮	糯米日粮	RS 日粮
总淀粉	39.49	39.2	39.84	39.92
直链淀粉	7.37	6.89	0	37.76
支链淀粉	32.12	32.31	39.84	2.16
非抗性淀粉	37.20	38.26	39.84	19.28
抗性淀粉	2.29	0.94	0	20.64

试验猪单栏饲养于塑料漏缝地板铁笼内, 舍温控制在 24~26℃, 常规饲养管理及免疫, 日喂 3 次, 自由饮水。

饲养 21d 后, 每处理组随机选 3 头猪安装颈静脉插管, 术后每天肌注青霉素 160 万 U, 连续注射 2 d, 并每天用 5ml 肝素钠溶液(400U/ml)冲洗 1 次。恢复 4d 后, 进行颈静脉采血。

1.4 样品采集和处理

采血在试验结束前 1d 进行。具体程序如下: 早上 7:30 空腹采血完毕后喂第一次饲料, 每小时采血一次, 全天连续采血 13 次, 并在 11:30 采完血后喂第二次饲料, 在 15:30 采完血后喂第三次饲料。每次试猪在空腹、第一次采食后的 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12h 颈静脉插管抽取血液 6ml, 放入加有抗凝剂的试管中, 在 5000r/min、4℃条件下离心 15min, 保存备分析。

1.5 测定指标和方法

测定血浆中游离葡萄糖和胰岛素的浓度。其中血浆游离葡萄糖用 CX4PRO 全自动生化分析仪分析, 试剂盒购自北京利德曼生化技术有限公司, 血浆胰岛素含量用放射免疫法测定, 所用试剂盒由中国原子能研究院提供。

1.6 数据处理

用 SAS8.2 对试验数据处理并进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 猪采食不同淀粉来源日粮后的血糖及胰岛素反应

各试验组仔猪采食不同淀粉来源饲料后血糖变化见表 4。血液葡萄糖浓度均呈现出相似的变化规律, 即先升高, 然后又降低。但变化速度和幅度不同饲料之间存在差异。各组空腹血糖值无显著差异($p > 0.05$), 采食后糯米组血糖升高较快, 在采食后 1h 血糖浓度即达到 94mg/100ml, 分别比糙米、玉米和 RS 组高 5.23% ($p > 0.05$)、15.58% ($p < 0.05$) 和 20.51% ($p < 0.01$)。4h 各组都达到第一次峰值, 糯米组为 111mg/100ml, 高于其他三组。峰值过后各组血糖值开始下降, 糯米组在 5h 即降至最低点 84mg/100ml, 显著低于玉米和糙米组 ($p < 0.05$)。三次采食后血糖浓度上升(与空腹值之差)和降低(与峰值之差)的幅度以第一次采食后变化最明显。糯米

表4 日粮淀粉来源对采食后血液葡萄糖浓度的影响(mg/100ml)

Table 4 Effects of dietary starch sources on the postprandial blood glucose (mg/100ml)

采食后时间(h)	玉米日粮	糙米日粮	糯米日粮	RS 日粮
采食前	79.33±6.66	82.33±4.39	83.67±2.52	75.67±2.52
饲喂第一次	1 81.33±4.93 ^{bc}	89.33±7.51 ^{ab}	94.00±3.61 ^a	78.00±2.65 ^c
2	88.33±11.93 ^{ab}	99.33±1.15 ^a	101.33±5.13 ^a	80.67±2.08 ^b
3	92.67±5.69 ^{ab}	104.67±9.07 ^{ab}	108.67±15.70 ^a	86.00±2.00 ^b
4	104.00±2.61	105.67±0.58	111.00±15.72	94.67±11.02
饲喂第二次	5 96.00±3.61 ^a	101.33±5.86 ^a	84.00±1.00 ^b	79.67±5.51 ^b
6	95.67±3.79 ^{ab}	102.33±5.69 ^a	103.67±10.79 ^a	87.67±2.52 ^b
7	95.00±4.36	99.67±17.39	100.33±1.53	84.33±1.53
8	95.67±11.37 ^{ab}	90.67±2.31 ^{b^c}	109.00±9.17 ^a	81.00±1.00 ^c
饲喂第三次	9 87.00±3.61	101.67±6.81	92.67±24.19	90.00±14.00
10	93.33±11.79	95.33±11.59	97.33±5.51	81.33±5.51
11	89.67±11.68	103.00±3.46	104.00±37.36	86.33±3.06
12	103.00±5.29 ^{ab}	106.33±10.69 ^a	92.00±4.58 ^b	91.67±6.66 ^b

注：同行肩标字母相邻者差异显著(p < 0.05)，相间者差异极显著(p < 0.01)。下同。

表5 日粮淀粉来源对采食后血浆胰岛素的影响(μ U/ml)

Table 5 Effects of dietary starch sources on the postprandial plasma insulin(μ U/ml)

采食后时间(h)	RS 日粮	糙米日粮	糯米日粮	玉米日粮
采食前	2.19±0.65	2.66±1.39	2.34±1.27	1.78±1.12
饲喂第一次	1 13.14±4.00 ^b	38.98±14.89 ^b	69.16±26.49 ^a	30.53±19.44 ^b
2	10.85±2.43 ^b	24.45±11.37 ^{ab}	36.32±9.21 ^a	20.74±4.85 ^b
3	10.18±3.28 ^c	26.40±14.58 ^{ab}	30.01±3.18 ^a	13.14±2.00 ^{bc}
4	9.50±6.09	20.09±9.97	20.45±2.55	12.84±5.00
饲喂第二次	5 18.69±3.38	29.73±12.14	33.81±14.38	22.98±17.05
6	11.38±7.92	28.93±14.88	25.57±4.07	15.73±5.74
7	11.25±7.61	24.52±13.55	26.41±7.21	12.42±5.85
8	10.01±4.18 ^c	36.80±19.41 ^a	33.16±6.36 ^{ab}	15.92±0.98 ^{bc}
饲喂第三次	9 12.38±8.42	27.89±16.22	29.49±8.23	12.91±5.11
10	11.06±7.25	15.96±6.22	18.63±4.93	9.77±4.70
11	9.07±3.71	17.93±13.35	16.64±7.25	9.39±6.41
12	10.56±6.76	16.97±8.97	15.50±3.80	8.02±4.70

表6 日粮淀粉来源对血液中胰岛素 / 血糖的影响(μ U/mg)

Table 6 Effects of dietary starch sources on the plasma insulin / glucose(μ U/mg)

采食后时间(h)	RS 日粮	糙米日粮	糯米日粮	玉米日粮
采食前	2.76±0.83	3.30±1.84	2.82±1.60	2.32±1.40
饲喂第一次	1 16.06±4.30 ^b	43.57±15.73 ^b	73.17±25.89 ^a	27.72±9.30 ^b
2	12.41±3.28 ^b	24.67±11.61 ^{ab}	28.88±5.44 ^a	25.64±5.50 ^{ab}
3	11.07±3.84 ^b	25.34±14.66 ^{ab}	27.85±3.29 ^a	15.26±2.02 ^{ab}
4	8.62±3.55	19.05±9.56	18.47±0.96	13.80±5.62
饲喂第二次	5 19.52±3.85	29.45±12.45	40.21±17.06	28.97±21.28
6	12.07±8.69	28.88±12.17	25.09±6.22	18.05±6.87
7	11.65±7.57	22.80±19.93	26.37±7.48	14.81±7.12
8	10.92±6.02 ^b	40.97±22.72 ^a	30.54±6.31 ^{ab}	19.66±1.44 ^{ab}
饲喂第三次	9 14.43±9.89	28.26±18.44	33.94±15.95	14.24±4.97
10	11.88±7.23	17.42±9.05	18.98±4.16	15.21±3.20
11	7.63±2.08 ^{ab}	8.57±0.31 ^a	6.00±1.01 ^b	5.73±0.38 ^b
12	6.30±0.70	5.97±0.55	5.97±0.93	5.70±0.17

组血糖升降的幅度最大，其次为糙米组，玉米和RS组升降的幅度较小。RS组采食后所有时间点的血糖浓度均低于其他三组，血糖变化的速度和幅度也是最小的，与其他三组相比，血糖较为稳定的维持在较低水平。

血液胰岛素的变化见表5。空腹时胰岛素的浓度很

低，且各组差别很小(p > 0.05)，但在采食后均迅速升高，然后逐渐降低。各组在1h即达到第一次峰值，糯米组为69.16μU/ml，显著高于糙米组的38.98μU/ml(p < 0.05)、玉米组的30.53μU/ml(p < 0.05)和RS组的13.14μU/ml(p < 0.05)。1h后迅速下降，在采食后4h降

至低点。第二次和第三次采食后各组胰岛素浓度升降的速度和幅度均不如第一次明显。四种日粮食后胰岛素变化的速度和幅度以及胰岛素分泌的量相比较,糯米组最大,糙米组次之,玉米组较低,RS组最低,食后胰岛素变化相对最为平稳。

2.2 猪采食不同来源淀粉日粮后血糖反应和胰岛素反应的关系

血液中胰岛素/血糖(ins/glu)的比值常用来表示机体对胰岛素的敏感性,本研究计算出各时点的ins/glu以观察胰岛素分泌和血糖变化的关系(表6)。结果显示,食后胰岛素/血糖迅速上升,而后下降,在食后1h各组的ins/glu达到峰值,糯米组要显著高于其它三组($p < 0.05$)。总的来说,四种日粮采食后的ins/glu以糯米组最高,糙米组次之,玉米组较低,RS组最低。结果提示维持血糖稳态所需分泌胰岛素的量 $RS < 玉米 < 糙米 < 糯米$ 。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 不同来源淀粉的消化吸收状况

由不同来源淀粉日粮食后血糖的动态变化比较可知,不同来源淀粉的消化吸收状况是有差异的,表明日粮淀粉来源影响淀粉在断奶仔猪的消化吸收,这与Crapo, et al^[5]的报道一致。淀粉消化性能的高低与淀粉颗粒表面积、淀粉结构和结晶程度紧密相关^[6]。而不同来源饲料淀粉颗粒大小、直链淀粉和支链淀粉的含量和比率及结晶程度和晶粒类型又存在差别,因而其消化性能也可能不同^[7-8]。此外,饲料的结构和组成可能影响消化过程中淀粉颗粒与消化酶的接触,从而影响淀粉的消化性能^[9-10]。Franco等^[8]用体外法研究木薯和玉米淀粉颗粒大小对淀粉水解的影响发现,小的淀粉颗粒($< 10\mu m$)较大的淀粉颗粒($> 16\mu m$)水解速度快(特别是甘薯淀粉),他们认为这是因为小的淀粉颗粒中直链淀粉含量较大粒淀粉低,而结晶区却少于大粒淀粉所致。杨月欣等^[11]比较了三种类型玉米淀粉在人体小肠内的消化吸收,认为淀粉的消化吸收受其食物本身性质的影响,支链淀粉含量高时,食物吸收率高。Zobel研究发现,饲料淀粉中直链淀粉含量越高其消化性能越差^[12]。饲料中直链淀粉含量与高温蒸煮后RS的形成呈正相关,可能的原因是由于直链淀粉分子较支链淀粉分子小,分子侧链较支链淀粉长,连接葡萄糖链的氢键也较强,因而直链淀粉难以接受消化酶的作用^[13]。另外,直链淀粉比支链淀粉易与油脂(脂肪酸)等化合物形成复合物,这也是直链淀粉较支链淀粉难消化的原因之一。直链淀粉的含量也影响淀粉的结晶程度,从而影响淀粉的消化性能^[14]。支链淀粉侧链的长度决定淀粉晶粒的类型,已经证明两种主要的晶体结构A和B会对淀粉的可消化性产生影响。

Hoover研究发现不同来源淀粉,支链淀粉侧链长度存在差异,因此不同来源淀粉的消化性能也各不相同^[15]。

研究表明,淀粉由于来源、组成和结构不同,在动物和人体内的消化速度和位点存在差异^[16],这些差异直接体现在食后血糖的动态变化上。Englyst^[17]根据体外法将淀粉分为快消化淀粉(RDS)、慢消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)。快消化淀粉在空肠部位就消化完全,慢消化淀粉到回肠末端才完全消化,而抗性淀粉在小肠内不被消化,进入后肠经微生物发酵产生挥发性脂肪酸和其它发酵产物。因此不同来源淀粉饲料尽管总淀粉或可消化淀粉含量相同,但其葡萄糖的释放速度存在差异。本研究结果也表明不同来源淀粉在断奶仔猪的消化速率存在差异,支链淀粉含量高的谷物淀粉(如糯米淀粉)食后血糖升降的速度和幅度最大,说明易于被消化,直链淀粉含量高的淀粉类型(如玉米淀粉和抗性淀粉)食后血糖升降的速度和幅度较低,说明消化吸收缓慢或较难消化。

3.1.2 不同来源淀粉对食后血糖的调节

淀粉在动物的消化道内被水解为葡萄糖吸收,在消化吸收过程中,肠道吸收的葡萄糖是血中葡萄糖的主要来源。血糖的升高与葡萄糖的吸收速度有关。胰岛素是机体唯一具有降糖作用的激素,具有抑制食后肝内葡萄糖生成,促进血糖向组织内转运和利用的作用,其水平反映了血糖的调节状况。因此,谷物淀粉作为饲料中主要的碳水化合物,其消化吸收状况直接影响体内血糖和胰岛素反应。

饲喂糯米日粮仔猪在采食后1h血中葡萄糖浓度迅速升高到94mg/100ml,显著高于其他各组($p < 0.05$)。5h迅速降低到84mg/100ml,显著低于玉米组($p < 0.05$),胰岛素及胰岛素与葡萄糖比值也表现出相似的规律,食后1h达到最大峰值69.16 $\mu U/ml$ 和73.17 $\mu U/mg$,显著高于其他各组($p < 0.05$)。这与Byrnes等对大鼠及Van Amelsvoort和Weststrate对人的研究结果相似^[18-19]。他们发现大鼠和人采食支链淀粉食物后血中葡萄糖和胰岛素水平迅速升高,对胰岛素的敏感性降低,而且这种变化随进食后时间而波动。研究表明,一种快速的淀粉消化短期内使葡萄糖释放较快,导致血浆葡萄糖和胰岛素水平迅速上升。但这种胰岛素峰值短时间就迅速下降,结果使血浆葡萄糖水平低于正常范围^[20]。

饲喂RS日粮的仔猪在采食后不同时间点中葡萄糖、胰岛素及胰岛素与葡萄糖比值均低于其它各组,这与王竹等^[21]在人方面的研究结果相似,他们发现健康人食入RS比食入葡萄糖和可消化淀粉血液中葡萄糖和胰岛素水平以及胰岛素/血糖比值低,表明RS在体内消化吸收较慢,具有调节血糖稳态、降低食后胰岛素分泌和提高机体对胰岛素敏感性的作用。

采食玉米和糙米日粮仔猪采食后血中葡萄糖、胰岛

素及胰岛素与葡萄糖比值也明显升高,但升高幅度不及糯米组高,特别是玉米组,整个试验期均维持相对较高的稳定水平。这主要是因为玉米淀粉中直链淀粉含量高,消化速度慢所致。Grodard^[22]、Juliano^[23]和Behall^[24]研究发现淀粉结构影响到血糖和胰岛素的反应,直链淀粉含量高的淀粉结构类型血糖和胰岛素反应较低。王竹等发现持续消化淀粉(慢消化淀粉和抗性淀粉)含量高的食物可降低胰岛素的分泌,提高胰岛素的敏感性。因此,淀粉消化速率的降低可降低或延缓食后血糖和胰岛素反应。

3.2 结论

本研究证明:不同来源淀粉在断奶仔猪体内的消化吸收特性不一致,淀粉的消化受到本身性质如直链和支链淀粉比例等的影响,支链淀粉含量高的淀粉易于被消化,直链淀粉含量高的淀粉消化缓慢;不同来源淀粉对断奶仔猪食后血糖的调节不一致,慢消化淀粉和抗性淀粉对调节食后血糖稳态,降低胰岛素分泌和提高机体对胰岛素的敏感性方面具有一定作用。

参考文献:

- [1] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMING J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. Eur J Clin Nutr, 1992, 46(5): 33-50.
- [2] WEURDING R E, VELDMAN A, VEEN W A G, et al. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs[J]. J Nutr, 2001, 131: 2329-2335.
- [3] WEURDING R E, VELDMAN A, VEEN W A G, et al. *In vitro* starch digestion correlates well with rate and extent of starch digestion in broiler chickens[J]. J Nutr, 2001, 131: 2336-2342.
- [4] WEURDING R E. Kinetic of starch digestion and performance of broiler chickens[D]. The Netherland Wageningen Agricultural University, 2001.
- [5] CRAPO P A, REAVEN G, OLEFSKY J. Post-prandial plasma-glucose and-insulin responses to different complex carbohydrates[J]. Diabetes, 1997, 26: 1778.
- [6] MORAN E T. Starch digestion in fowl[J]. Poult Sci, 1982, 61: 1257-1267.
- [7] OATES C G. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis[J]. Trends Food Sci Technol, 1997 (8): 375-382.
- [8] FRANCO C M L, PRETO S J R, CIACCO C F. Factors that affect the enzyme degradation of natural starch granules-effects of the size of the granules[J]. Starch, 1992, 44: 422-426.
- [9] CLASSEN H L. Cereal grain starch and exogenous enzyme in poultry diets[J]. Anim Feed Sci Technol, 1996, 62: 21-27.
- [10] COW A G, CONGLAND A C. Carbohydrate and dietary fiber digestion in the pig and the possible influence of feed enzymes[J]. Feed Compounder, 1990 (2): 11-13.
- [11] 杨月欣, VONK R, STELLAARD F. 三种类型玉米淀粉在小肠中消化吸收研究[J]. 营养学报, 1999, 21(3): 284-287.
- [12] ZOBEL H F. Molecules to granules: a comprehensive starch review[J]. Starch, 1988, 40(2): 44-50.
- [13] SIEVERT D, POMERANZ Y. Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods[J]. Cereal Chem, 1989, 66: 342-347.
- [14] 魏衍超, 杨连生. 抗消化淀粉研究最新进展[J]. 郑州粮食学院学报, 2000, 21(1): 70-72.
- [15] HOOVER R. Starch retrogradation[J]. Food Reviews International, 1995, 11(2): 331-346.
- [16] JENKINS D J A, WOLEVER T M S, TAYLOR R H. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange[J]. Am J Clin Nutr, 1981, 34: 362-366.
- [17] ENGLYST H N, TROWEL H, CUMMING J H. Dietary fiber and resistant starch[J]. Am J Clin Nutr, 1987, 46: 873-874.
- [18] BYRNES S E, BRAND M J C, DENYER G S. Amylopectin starch promotes the development of insulin resistance in rats[J]. J Nutr, 1995, 125: 1430-1437.
- [19] VAN AMELSVOORT J M M, WESTSTRATE J A. Amylose-amylopectin rate in a meal affects postprandial variables in male volunteers [J]. Am J Clin Nutr, 1992, 55: 712-718.
- [20] WOLEVER T M S. Dietary carbohydrates and insulin action in humans [J]. British Journal of Nutrition, 2000, 83(1): S97-S102.
- [21] 王竹, 等. 抗性淀粉的代谢及对血糖的调节作用[J]. 营养学报, 2003, 25: 190-194.
- [22] GODDARD M S, YOUNG G, MARCUS R. The effect of amylase content on insulin and glucose responses to ingested rice[J]. Am J Clin Nutr, 1984, 39: 388-392.
- [23] JULIANO B O, GODDARD M S. Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice[J]. Qual Plant Plant Foods Hum Nutr, 1986, 36: 35-41.
- [24] BEHALL K M, SCHOLFIELD D J, CANARY John. Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults[J]. Am J Clin Nutr, 1988, 47: 428-432.



信息

美国研究人员发现:生命的长短也可受气味的控制

自上世纪90年代以来,衰老和死亡受细胞和基因变化过程控制的认识就逐渐为人们所接受。据香港媒体报道,美国研究人员近日在对一种只喂了少量食物的黑腹果蝇进行研究之后发现,气味也能控制生命的长短。

研究人员让饥饿的果蝇闻酵母的气味。他们惊讶地发现,这些果蝇的寿命变短了。研究人员随后利用基因技术“关闭”了果蝇的一个关键的嗅觉感受器官,结果发现,失去嗅觉的果蝇居然比其它正常果蝇的寿命最多长出了50%。

研究人员希望,未来能够考查其它气味和嗅觉感受器官对寿命是否具有更大的影响。他们希望在未来找到可以控制生命长短的特殊芳香物质。目前还无法预测该研究成果是否能够直接应用到更高等的动物甚至人的身上,但进行此类研究的科学家们希望有朝一日能延缓人类衰老。

近年来人们已经知道对蠕虫和鼠类等多种生物体来说,适当节食会产生延长寿命的效果。目前人们也在对猴子进行类似的研究,但由于灵长类动物的寿命较长,该项研究还没有结束。