



两种抗凝剂对实验用小型猪血液生理指标的影响

王 洪¹, 魏 杰¹, 王吉星², 李芳芳¹, 岳秉飞¹

(1. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050; 2. 北京实验动物行业协会, 北京 100195)

【摘要】 目的 比较分析两种抗凝剂对实验用小型猪血液生理指标的影响。**方法** 将 22 只成年的实验用小型猪, 分别用 EDTA 三钾和肝素锂抗凝采血后, 用日本光电 MEK-7222K 血球分析仪测定血液生理指标。**结果** 使用不同的抗凝剂, 同一批样本的血液生理指标中单核细胞绝对值(MON)有差异($P < 0.05$), 平均红细胞体积(MCV)、平均红细胞血红蛋白浓度(MCHC)、血小板比积(PLT)、血小板平均体积(PCT)、血小板平均体积(MPV)、淋巴细胞绝对值(LYM)、嗜酸性粒细胞绝对值(EOS)、嗜碱性粒细胞绝对值(BAS)、淋巴细胞绝对值(LYM)%、单核细胞绝对值(MON)%、嗜酸性粒细胞百分率(EOS)%和嗜碱性粒细胞百分率(BAS)%这 12 个指标有显著差异($P < 0.01$); EDTA 三钾抗凝的血液生理指标中血小板比积(PLT)、中性粒细胞绝对值(NEUT)和中性粒细胞百分率(NEUT)%有性别差异($P < 0.05$), MON、EOS、MON%和 EOS%性别差异有显著性($P < 0.01$); 肝素锂抗凝的血液生理指标中血小板体积分布宽度(PDW)、中性粒细胞绝对值(NEUT)和 LYM%有性别差异($P < 0.05$), MON、EOS、MON%、NEUT%和 EOS%性别差异有显著性($P < 0.01$)。**结论** 不同的抗凝剂对实验用小型猪血小板和白细胞分类计数参数影响显著, 进行相关实验时应妥善选择血液抗凝方式。

【关键词】 小型猪; 抗凝剂; 血液生理值

【中图分类号】 R33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2014) 04-0028-05

doi: 10. 3969. j. issn. 1671. 7856. 2014. 004. 007

Impact of two anticoagulants EDTA-3K and heparin lithium on blood physiological parameters of miniature pigs

WANG Hong¹, WEI Jie¹, WANG Ji-xing², LI Fang-fang¹, YUE Bing-fei¹

(1. National Institute for Food and Drug Control, Beijing 100050, China;

2. Beijing Laboratory Animal Industry Association, Beijing 100195)

【Abstract】 Objective To compare the impact of two anticoagulants (EDTA-3K and heparin lithium) on blood physiological parameters in miniature pigs. **Methods** Blood samples from 22 adult miniature pigs were collected and tested for physiological values using a MEK-7222K hematology analyzer. Differences in the values determined by using the two anticoagulants were analyzed. **Results** There were significant differences in values of some blood physiological parameters determined by the two anticoagulant groups, such as MON, MCV, MCHC, PLT, PCT, MPV, LYM, EOS, BAS, LYM %, MON %, EOS % and BAS %. There were significant differences in the latter 12 indexes ($P < 0.01$) except for MON ($P < 0.05$). Meanwhile, there were sex differences in values of 7 blood physiological indexes determined by EDTA-3K: PLT ($P < 0.05$), NEUT ($P < 0.05$), NEUT% ($P < 0.05$), MON ($P < 0.01$), EOS ($P < 0.01$), MON% ($P < 0.01$) and EOS% ($P < 0.01$). There were significant differences in 8 indexes determined by heparin lithium: PDW ($P <$

【作者简介】王洪(1977-),女,副研究员,学士。研究方向:动物遗传学。E-mail: littstar@163.com。魏杰(1982-),女,助理研究员,硕士。研究方向:免疫遗传检测。E-mail: jane3040320@163.com。共同为第一作者。

【通讯作者】岳秉飞(1960-),男,研究员,博士。研究方向:动物遗传学。E-mail: y6784@126.com。

0.05), NEUT ($P < 0.05$), LYM% ($P < 0.05$), MON ($P < 0.01$), EOS ($P < 0.01$), MON% ($P < 0.01$), NEUT% ($P < 0.01$) and EOS% ($P < 0.01$). **Conclusion** It is essential to choose proper anticoagulant before starting relevant tests, because there are significant differences in leukocyte and platelet counts in miniature pigs, determined with different anticoagulants.

【Key words】 Miniature pigs; Anticoagulant; EDTA-3K; Heparin lithium; Blood parameters

小型猪是近年来生物医学研究中应用最为广泛的非啮齿类实验动物之一,在解剖学、生理学、疾病发生机理等方面与人相似性极高,具有其它实验动物不可替代的优越性^[1-3]。小型猪和人的各器官系统不仅在形态上相似而且生理学功能也基本相同,特别是皮肤、心血管系统、胃肠道和泌尿系统尤其如此,因此在生物医学研究中,小型猪越来越多地被用来替代犬、猴等非啮齿类动物,小型猪更适合用于毒理实验。小型猪是替代传统非啮齿类犬和猴的理想动物,将会在未来生物医学研究中发挥日益重要的作用,而建立小型猪的实验数据库具有非常重要的现实意义^[4,5]。我国小型猪种质资源丰富,品种多样,遗传稳定,具有体型小、易于饲养和操作等优点,近年来小型猪实验动物化进程不断进展^[6]。目前,已进行实验动物化的品种有西藏小型猪,广西巴马小型猪,贵州小型猪,滇南小耳猪,五指山小型猪,版纳微型猪,中国农大小型猪等^[7]。

血液生理、生化指标检测及相关生物特性的研究是实验用小型猪标准化研究的基本内容,也是病理、生理以及毒理学研究工作的重要基础指标和判定小型猪生理状态的重要依据。^[5]抗凝剂是在临床和科学研究中经常使用的化学药剂。在血液细胞计数过程中,需要对血液进行抗凝处理。常用的抗凝剂有肝素钠、EDTA 盐、柠檬酸盐等^[8]。

目前国内对于抗凝剂对实验用小型猪血液生理指标影响的报道极少,本研究中的房山封闭群小型猪来源于中国农业大学培育的中国实验用小型猪,引种后在北京房山区猪场按照封闭群繁育标准繁殖 20 多年。本研究探讨了抗凝剂对白细胞计数,红细胞计数,血红蛋白含量和血小板含量等 22 项血液学生理指标的影响,并对使用不同抗凝剂得到的测定值进行比较分析,旨在为实验用小型猪建群,疾病动物模型筛选和器官移植实验提供基本的参考数据。

1 材料和方法

1.1 样本

对小群体房山封闭群小型猪采抗凝血 22 份,分

别为 EDTA 三钾抗凝和肝素锂抗凝,雌雄各半,样品由北京市琉璃河科兴实验动物养殖中心提供,生产许可证号 SCXK(京)2012-0005。小型猪年龄:成年,数量:22 头,性别:雌雄各半。该品种引种自背景来源清晰的中国农大小型猪,在北京市琉璃河科兴实验动物养殖中心进行封闭繁育 20 多年。

1.2 主要仪器及设备

日本光电 Mek7222 血细胞分析仪

1.3 试剂

清洗液 DH520,清洗液 DH620,稀释液 DH640,溶血剂 DH910,溶血剂 DH680 均购自上海东湖生物医学有限公司。EDTA-3K 抗凝剂的浓度为 15g/L,肝素锂抗凝剂的浓度为 1%。

1.4 测定项目及方法^[9]

血液生理指标:红细胞计数(RBC)、血红蛋白浓度(HGB)、红细胞压积(HCT)、平均红细胞体积(MCV)、平均红细胞血红蛋白(MCH)、平均红细胞血红蛋白浓度(MCHC)、红细胞分布宽度(RDW)、白细胞计数(WBC)、白细胞分类计数、血小板计数(PLT)、平均血小板体积(MPV)、血小板压积(PCT)和血小板分布宽度(PDW),共 22 项。

用日本光电 MEK-7222K 血球分析仪测定,仪器精度:WBC 2.0%,RBC 1.5%,HGB 1.5%,MCV 1.0%,PLT 4.0%。样品测定前后应进行空白测定。

2 结果

2.1 不同抗凝剂对血液生理指标的影响

共测定 22 项血液生理指标,其中 1 个指标 MON 有差异($P < 0.05$),MCV、MCHC、PLT、PCT、MPV、LYM、EOS、BAS、LYM%、MON%、EOS% 和 BAS% 这 12 个指标差异有显著性($P < 0.01$),其他 9 项指标无统计学差异($P > 0.05$)(表 1)。

2.2 EDTA 三钾抗凝血的血液生理指标结果

共测定 22 项血液生理指标,其中 PLT、NEUT 和 NEUT% 3 项指标有性别差异($P < 0.05$),MON、EOS、MON% 和 EOS% 4 项指标性别差异有显著性($P < 0.01$);其他 15 项指标均无统计学差异($P > 0.05$)(表 2)。

表 1 小型猪的血液生理参数
Tab.1 Blood physiological values of miniature pigs

名称 Description	单位 Unit	平均值 Mean		P 值 P value	
		EDTA-3K	heparin lithium		
白细胞计数	WBC	* 10 ⁹ /L	15.0 ±2.8	14.7 ±2.5	
红细胞计数	RBC	* 10 ¹² /L	8.1 ±1.0	8.0 ±1.2	
血红蛋白测定	HGB	g/L	143.1 ±21.0	140.4 ±23.1	
红细胞比积	HCT	%	46.0 ±6.0	44.7 ±6.8	
平均红细胞体积	MCV	fL	56.7 ±2.8	55.6 ±2.8	**
平均红细胞血红蛋白含量	MCH	pg	17.6 ±1.0	17.4 ±1.1	
平均红细胞血红蛋白浓度	MCHC	g/L	310.3 ±8.8	313.4 ±8.5	**
血小板计数	RDW	%	14.6 ±0.9	14.6 ±0.9	
血小板比积	PLT	* 10 ⁹ /L	318.9 ±101.9	287.9 ±102.2	**
血小板平均体积	PCT	%	0.2 ±0.1	0.2 ±0.1	**
血小板平均体积	MPV	fL	7.9 ±1.0	6.7 ±1.2	**
血小板体积分布宽度	PDW	%	15.2 ±1.0	15.3 ±0.5	
淋巴细胞绝对值	LYM	* 10 ⁹ /L	7.5 ±1.6	6.8 ±1.8	**
单核细胞绝对值	MON	* 10 ⁹ /L	0.8 ±0.3	0.9 ±0.3	*
中性粒细胞绝对值	NEUT	* 10 ⁹ /L	5.3 ±2.0	5.3 ±1.7	
嗜酸性粒细胞绝对值	EOS	* 10 ⁹ /L	1.2 ±0.5	1.3 ±0.5	**
嗜碱性粒细胞绝对值	BAS	* 10 ⁹ /L	0.1 ±0.2	0.4 ±0.3	**
淋巴细胞百分率	LYM%	%	51.0 ±8.6	46.6 ±9.8	**
单核细胞百分率	MON%	%	5.2 ±1.1	5.9 ±1.0	**
中性粒细胞百分率	NEUT%	%	35.0 ±9.8	35.5 ±9.1	
嗜酸性粒细胞百分率	EOS%	%	8.4 ±3.6	9.3 ±4.5	**
嗜碱性粒细胞百分率	BAS%	%	0.5 ±1.5	2.7 ±2.1	**

* 表示 $0.01 < P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$ 。* shows $0.01 < P < 0.05$; ** shows $P < 0.01$ 。

表 2 小型猪 EDTA 三钾抗凝的血液生理参数
Tab.2 Blood physiological values of miniature pigs(EDTA-3K anticoagulant)

名称 Description	单位 Unit	平均值 Mean		P 值 P value	
		雌 Female	雄 Male		
白细胞计数	WBC	* 10 ⁹ /L	15.0 ±2.8	15.3 ±4.4	
红细胞计数	RBC	* 101 ² /L	8.1 ±1.0	8.4 ±1.2	
血红蛋白测定	HGB	g/L	143.1 ±20.9	144.3 ±22.3	
红细胞比积	HCT	%	46.0 ±6.0	46.0 ±6.9	
平均红细胞体积	MCV	fL	56.7 ±2.8	54.8 ±3.1	
平均红细胞血红蛋白含量	MCH	pg	17.6 ±1.0	17.2 ±1.0	
平均红细胞血红蛋白浓度	MCHC	g/L	310.3 ±8.8	313.7 ±6.1	
血小板计数	RDW	%	14.6 ±0.9	14.7 ±0.8	
血小板比积	PLT	* 10 ⁹ /L	318.9 ±101.9	400.0 ±102.4	*
血小板平均体积	PCT	%	0.2 ±0.1	0.3 ±0.1	
血小板平均体积	MPV	fL	7.9 ±1.0	7.2 ±1.3	
血小板体积分布宽度	PDW	%	15.2 ±1.0	15.0 ±0.6	
淋巴细胞绝对值	LYM	* 10 ⁹ /L	7.5 ±1.6	6.3 ±2.2	
单核细胞绝对值	MON	* 10 ⁹ /L	0.8 ±0.3	0.5 ±0.2	**
中性粒细胞绝对值	NEUT	* 10 ⁹ /L	5.3 ±2.0	8.0 ±4.1	*
嗜酸性粒细胞绝对值	EOS	* 10 ⁹ /L	1.2 ±0.5	0.6 ±0.3	**
嗜碱性粒细胞绝对值	BAS	* 10 ⁹ /L	0.1 ±0.2	0.0. ±0.0	
淋巴细胞百分率	LYM%	%	51.0 ±8.6	41.8 ±14.6	
单核细胞百分率	MON%	%	5.2 ±1.1	3.3 ±1.0	**
中性粒细胞百分率	NEUT%	%	35.0 ±9.8	50.6 ±16.5	*
嗜酸性粒细胞百分率	EOS%	%	8.4 ±3.6	4.1 ±1.8	**
嗜碱性粒细胞百分率	BAS%	%	0.5 ±1.5	0.2 ±0.1	

* 表示 $0.01 < P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$ 。* shows $0.01 < P < 0.05$; ** shows $P < 0.01$ 。

表 3 小型猪肝素锂抗凝的血液生理参数
Tab.3 Blood physiological values of miniature pigs(heparin lithium anticoagulant)

名称 Description	单位 Unit	平均值 Mean		P 值 P value
		雌 Female	雄 Male	
白细胞计数	WBC	* 10 ⁹ /L	17.7 ± 2.5	15.2 ± 4.3
红细胞计数	RBC	* 10 ¹² /L	8.0 ± 1.2	8.5 ± 1.2
血红蛋白测定	HGB	g/L	140.4 ± 23.1	146.3 ± 21.6
红细胞比积	HCT	%	44.7 ± 6.8	46.1 ± 6.6
平均红细胞体积	MCV	fL	55.6 ± 2.8	54.0 ± 2.6
平均红细胞血红蛋白含量	MCH	pg	17.4 ± 1.1	17.2 ± 1.0
平均红细胞血红蛋白浓度	MCHC	g/L	313.4 ± 8.5	317.3 ± 5.4
红细胞体积分布宽度	RDW	%	14.6 ± 0.9	14.7 ± 0.8
血小板计数	PLT	* 10 ⁹ /L	287.9 ± 102.2	365.6 ± 107.2
血小板比积	PCT	%	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1
血小板平均体积	MPV	fL	6.7 ± 1.2	6.2 ± 1.0
血小板体积分布宽度	PDW	%	15.3 ± 0.5	14.7 ± 0.7
淋巴细胞绝对值	LYM	* 10 ⁹ /L	6.8 ± 1.8	5.5 ± 2.1
单核细胞绝对值	MON	* 10 ⁹ /L	0.9 ± 0.3	0.6 ± 0.2
中性粒细胞绝对值	NEUT	* 10 ⁹ /L	5.3 ± 1.7	8.2 ± 4.0
嗜酸性粒细胞绝对值	EOS	* 10 ⁹ /L	1.3 ± 0.5	0.7 ± 0.3
嗜碱性粒细胞绝对值	BAS	* 10 ⁹ /L	0.4 ± 0.3	0.3 ± 0.3
淋巴细胞百分率	LYM%	%	16.6 ± 9.8	37.1 ± 12.3
单核细胞百分率	MON%	%	5.9 ± 1.0	3.7 ± 0.8
中性粒细胞百分率	NEUT%	%	35.5 ± 9.1	52.8 ± 14.6
嗜酸性粒细胞百分率	EOS%	%	9.3 ± 4.5	4.6 ± 2.0
嗜碱性粒细胞百分率	BAS%	%	2.7 ± 2.1	1.8 ± 1.8

* 表示 0.01 < P < 0.05; ** 表示 P < 0.01。 * shows 0.01 < P < 0.05; ** shows P < 0.01.

2.3 肝素锂抗凝血的血液生理指标结果

共测定 22 项血液生理指标,其中 PDW、NEUT 和 LYM% 3 项指标有性别差异 (P < 0.05), MON、EOS、MON%、NEUT% 和 EOS% 5 项指标性别差异有显著性 (P < 0.01); 其他 14 项指标均无统计学差异 (P > 0.05) (表 3)。

3 讨论

3.1 实验动物血液生理指标的重要性

实验动物的血液生理指标是生物医学研究中重要的指标,是判断健康动物状态和选择合格动物的标准,是病理学、毒理学等研究的重要参考依据。实验动物血液生理参数主要受动物自身的遗传因素与环境因素决定与控制。往往遗传因素是决定实验动物血液生理参数的内在物质基础,环境因素是决定血液生理参数变化的外在条件。其中遗传因素决定的大小,常常用遗传度表示。某种动物的血液生理生化参数都有特定的波动范围,这种范围构成了每种实验动物特有的生物学特性参数^[10,11]。

3.2 两种抗凝剂对血液生理指标的影响

分别用 EDTA 三钾和肝素锂抗凝的血液生理指标,该两种抗凝剂对红细胞计数的影响无差

异,对平均红细胞体积 MCV 和平均红细胞血红蛋白浓度 MCHC 的影响差异有显著性;对血小板的相关参数的影响差异显著;对白细胞计数无影响,但对白细胞分类的影响显著,白细胞分类中,除了中性粒细胞外的,对淋巴细胞、单核细胞、嗜酸性粒细胞、嗜碱性粒细胞含量及其百分比都有显著影响。如果实验中主要考察的目标是白细胞分类的相关指标,或者血小板相关参数,那么在结果分析的时候,一定要考虑到抗凝剂对相关指标的影响。如果实验中分多次采血取样,那么应选用同一种抗凝剂,尽量减少不同的抗凝剂对血液生理指标的影响,避免由此带来的实验偏差。血液生理指标在不同抗凝剂之间存在一定的差异,在一定程度上说明,血液生理值除了受遗传基因控制外,抗凝剂的种类对其血液生理指标的影响巨大。

3.3 性别差异对血液生理指标的影响

经过 EDTA 三钾处理的血液生理指标:血小板、中性粒细胞、单核细胞和嗜酸性粒细胞等指标有性别差异,且差异显著;大多数指标差异无显著性。说明血液生理值受遗传基因控制,并且与不同性别生理代谢过程的差异有关系。经过肝素锂处理的血液生理指标:血小板、淋巴细胞、单核细胞、嗜中

性粒细胞和嗜酸性粒细胞存在性别间差异;大多数指标差异无显著性,说明血液生理值受遗传基因控制,并且与不同性别生理代谢过程的差异有关系。即使选用同样的抗凝剂,血液生理指标在雌雄之间仍然存在差异,主要表现在血小板和白细胞分类上面。那么在实验中,要考虑到性别差异对实验结果的影响,同一个实验中选取同一性别的动物。如果分不同批次,应保持不同批次间性别一致,以便于实验结果的分析,排除干扰。

3.4 抗凝剂对血小板计数的影响

有报道称 EDTA 盐抗凝的人类血小板计数可能出现急剧下降的现象。邢辉等报道称:“EDTA 盐有时可导致血小板发生聚集从而导致血液分析仪做血小板计数时出现假性偏低的现象。”刘青鹏等报道称:“一些患者采用 EDTA-K₂ 抗凝血利用全自动血细胞分析仪检测血小板计数时,会出现结果的假性异常降低。”而且文献报道的数据显示,出现这样的病例在中国并不多见。通过我们的研究发现,无论是 EDTA 三钾还是肝素锂抗凝的小型猪血液样本,均没有出现血小板计数急剧下降的现象。^[12-13]

3.5 血液生理指标中的敏感指标

无论用何种抗凝剂抗凝,小型猪雌雄之间的血液生理指标差异都出现在血小板和白细胞分类当中。说明血小板和白细胞分类是容易收到干扰并发生改变的敏感指标。雌雄之间的血液生理指标的差异不因抗凝剂的不同而有异,差异还是那几个指标的差异。说明血液生理指标主要取决于遗传因素,并存在性别差异。这种差别可能与动物的生长环境以及新陈代谢水平有关。

血液生理参数主要受动物自身的遗传因素与环境因素决定与控制。遗传因素是决定实验动物血液生理参数的内在物质基础,环境因素是决定血液生理参数变化的外在条件。因性别以及新陈代谢水平等因素的不同,动物往往表现出各异的生理参数。作为一类重要的实验动物,小型猪的血液生理值在一定程度上反映了动物的新陈代谢和生理机能状况,了解小型猪的生理指标对该动物的饲养管理以及实验应用都具有重要的参考价值。小型猪在血液生理方面的特性将有助于其在生物医学领域的开发和利用^[14-18]。

参考文献:

- [1] Whyte JJ, Prather RS. Genetic modifications of pigs for medicine and agriculture [J]. Mol Reprod Dev, 2011, 78(10-11):879-891.
- [2] Walter EM, Wolf E, Whyte JJ, et al. Completion of the swine genome will simplify the production of swine as a large animal biomedical model [J]. BMC Med Genomics, 2012, 5:55.
- [3] Ross JW, Fernandez de Castro JP, Zhao J, et al. Generation of an inbred miniature pig model of retinitis pigmentosa [J]. IOVS, 2012, 53(1):501-507.
- [4] 袁进,顾为望. 小型猪作为人类疾病动物模型在生物医学研究中的应用 [J]. 动物医学进展, 2011, 32(2):108-111.
- [5] 商海涛,魏泓. 小型猪品系资源状况初浅分析 [J]. 中国实验动物学报, 2007, 15(1):70-75.
- [6] 吴丽红,田雨光,范沛. 小型猪在生物医药研究中的应用概述 [J]. 中国比较医学杂志, 2010, 20(10):77-78.
- [7] 李亮,刘宇,商海涛,等. 不同限饲水平下巴马香猪血液生理、生化指标的比较 [J]. 第三军医大学学报, 2013, 35(11):1111-1114.
- [8] 齐玉凯,孙钰,刘丽英,等. 抗凝剂 EDTA-Na₂ 对家禽血液指标及基因组 DNA 的影响 [J]. 生物技术通讯, 2013, 24(3):378-381.
- [9] 叶应妩,王毓三,申子瑜,主编. 全国临床检验操作规程(第三版) [M], 东南大学出版社, 121-143, 406-451, 2006.
- [10] 王洪,张华琼,黄麟,等. 雌雄金黄地鼠血液生理生化指标的比较分析 [J]. 中国比较医学杂志, 2008, 18(2):35-42.
- [11] 赵毓梅,郑定仙,黄业宇,等. SD 大鼠血常规、血液生化指标、脏器比正常参考值范围研究 [J]. 中国卫生检验杂志, 2002, 12(2):165-166.
- [12] 邢辉,吴建民. EDTA-K₃ 依赖性血小板假性减少症分析 [J]. 临床检验杂志, 2004, 22(4):277-279.
- [13] 刘青鹏,刁莹莹. 抗凝剂 EDTA-K₂ 导致血小板检测结果假性减低的纠正 [J]. 中国医科大学学报, 2013, 42(7):636-637.
- [14] 秦廷武,吴云鹏. 运动性疲劳对血液生理生化及血液流变学的影响 [J]. 国外医学生物医学工程分册, 1997, 20(6):321-324.
- [15] 谢文光,周良玉,韦钰书. 新生儿出生时的血液生理生化指标的研究 [J]. 中华儿童保健杂志, 1996, 4(1):58-60.
- [16] 王钰,卢静,陈振文,等. 长爪沙鼠血液生理生化正常参考值的研究 [J]. 中国实验动物学报, 2004, 12(2):108-111.
- [17] 孙靖主编. 实验动物学基础 [M]. 北京:北京科学技术出版社. 2005:60.
- [18] 吴艳花,徐玲玲,杜小燕,等. 封闭群试验用小型猪遗传标准的建立 [J]. 实验动物科学, 2010, 27(6):33-38.

[修回日期]2014-02-12