

重粉质壤土泥浆特性动态检测

张慎强¹, 朱首军^{1*}, 刘玉兰¹, 张治浩²

(1. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; 2. 新疆建设兵团勘测规划设计研究院, 新疆乌鲁木齐 830002)

摘要 [目的] 为用含粘粒量高的土修建水坠坝提供基础资料和理论指导。[方法] 以陕西白水西武村附近大沟流域的土作为试验对象, 用等高等直径的 PVC 管样桶构建测试模型, 对 2 种灌浆速度(15 和 25 cm/d)下灌浆体的沉降量、抗剪强度、湿密度、下渗量等指标进行动态测定。[结果] 不同灌浆速度下, 灌浆过程中灌浆体各指标的总变化趋势相同。对于同一高度的灌浆体, 其沉降变形、抗剪强度、湿密度均表现为灌浆速度大则相应的值大。灌浆 5~6 d 以后, 以 25 cm/d 速度灌浆的日排水量小于以 15 cm/d 速度灌浆的日排水量。[结论] 灌浆速度加大可缩短达到相同沉降变形、抗剪强度和湿密度的时间, 可明显增加灌浆初期排水量, 但随灌浆时间的累积, 下层灌浆体接近不透水层而不利于灌浆后期的排水。

关键词 重粉质壤土; 泥浆; 抗剪强度; 排水固结; 动态检测

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2008)32-14202-04

Dynamic Monitoring on the Mud of Heavy Silt Loam

ZHANG Shen-qiang et al (College of Resources & Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract [Objective] The research aimed to provide basic files and theoretical guidance for constructing sluicing-siltation dam using soil with high clay content soil. [Method] The soils of Dagou basin near Xiwu Village of Baishui County, Shaanxi Province were taken as experimental materials. PVC pipes with same height and diameter were used to construct testing model for dynamically determining settlement, shear strength, wet density of grouting bulk under 2 different grouting speeds (15 and 25 cm/d). [Result] Under different grouting speeds, general change trend was similar during grouting course. The subsidence, deformation, shear strength and wet density increased with the increase of grouting speed. Five or six days after grouting, daily displacement under 25 cm/d grouting speed was fewer than that under 15 cm/d grouting speed. [Conclusion] The increase of grouting speed could shorten the time for reaching the same subsidence, deformation, shear strength and wet density and increased displacement at the initial stage of grouting, however, with the increase of grouting time, lower grouting bulk was bad for displacement at later grouting period because it was near impermeable layer.

Key words Heavy silt loam; Mud; Shear strength; Drainage consolidation; Dynamic detection

近年来在黄河中上游水土流失区快速发展起来的坝系农业进一步拓展了水坠坝的发展空间。如何运用水坠坝加快坝系农业的发展, 对控制水土流失, 调整产业结构具有重大的现实意义。而水坠坝修筑技术尚未成熟, 尤其在粉质壤土地区修筑水坠坝还存在很大的技术限制^[1]。该试验在实验室模拟条件下, 以陕西白水西武村附近大沟流域的重粉质壤土为材料, 采用土水比为 2 的泥浆, 研究了 15 和 25 cm/d 2 种灌浆速度下土壤性质的动态变化规律, 旨在为该类水坠坝的建设提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 料场概况 料场位于陕西省白水西武村附近大沟流域, 距冲沟沟底 40 m, 面积大, 地形平缓, 有用层厚而稳定, 土层结构简单, 属“T”类料场。

1.2 土样的采集与泥浆的配制 以“S”型物探线布设 5 个探坑, 探坑间隔 50 m, 每个探坑分 3 层取样, 层间间隔 1 m。所采土样性质均没有明显差别, 粘粒 (<0.005 mm) 含量的变化区间为 20%~26%, 属重粉质壤土, 浅黄色, 硬黄土, 含有少量结核。将所采样除去根系、石块等杂物, 风干磨碎后过孔径 5 mm 筛, 混匀, 四分法取适量土样^[2-3], 测得相对密度 G_s 为 2.70, 烘干法测得此时自然含水率 ω_0 为 14%^[4]。剩余土用防水布封严, 保湿, 备用。按照公式(1)、(2)^[5], 计算配制土水比为 2 的泥浆时, 单位重量土样所需再加的水量。将所配泥浆在搅拌机中充分搅拌, 直到稠度仪的锥体刺入深

度稳定为止。

$$K_n = \frac{r_n - 1}{A_1 - B_1(r_n - 1)} \quad (1)$$

$$\omega_n = \frac{1 - \frac{r_n}{G_s}}{r_n - 1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K_n 为泥浆土水比; A_1 、 B_1 为计算常数, $A_1 = (1 - \frac{1}{G_s})r_d$, $B_1 = (\frac{1}{G_s} + \omega_0)r_d$; r_n 为泥浆容重 (g/cm^3); r_d 为土的干容重 (g/cm^3), 可用土料自然状态的干容重或坝体设计的干容重; ω_0 为土料的自然含水率; ω_n 为泥浆含水率; G_s 为土粒相对密度。

1.3 灌浆模型的组装 灌浆模型如图 1。图中每个方框表示 1 个 PVC 管样桶^[6], 管径为 160 mm, 高度由浇筑速度确定 (分别为 15 和 25 cm)。模型的组装是随浇筑高度的增加, 做相应的设备连接。选平稳坚实的地基作为支架的支撑面; 在支架上放置依次装有卵石、砾石、纱布、滤纸和沙子的 PVC 管堵头, 向堵头里浇水, 使沙子等饱和; 取 1 个处理好的样桶和堵头对齐, 用胶带缠绕接缝, 胶带的外面套上 PVC 管卡环。经过上述工作后即可向样桶里灌浆, 在样桶的 2/3 处铺 1 层纱布, 灌浆满 1 个样桶, 在表面再加 1 层纱布。样桶 2/3 处的纱布用以隔断上下层泥浆的粘聚力, 保证该纱布以下的灌浆体不受其上面泥浆的扰动, 用该纱布以下的灌浆体做渗透。铺设在样桶表面的纱布作用是记录下沉位置, 当经过规定时间割断胶带、拆开此样桶时, 即可知道该高度灌浆体的沉降量。下 1 个样桶的安装方法同上。具体流程如图 2。由于在灌浆的过程中, 难免产生晃动, 相隔 1 m 左右应该架设平面为“#”字型的固定架, 夹稳样桶。

基金项目 国家科技支撑计划(2006BAD09); 西北农林科技大学科研创新团队支持计划; 陕西省水土保持局淤地坝建设基金。

作者简介 张慎强(1977-), 男, 甘肃靖远人, 硕士研究生, 研究方向: 水土保持工程研究。* 通讯作者。

收稿日期 2008-07-30

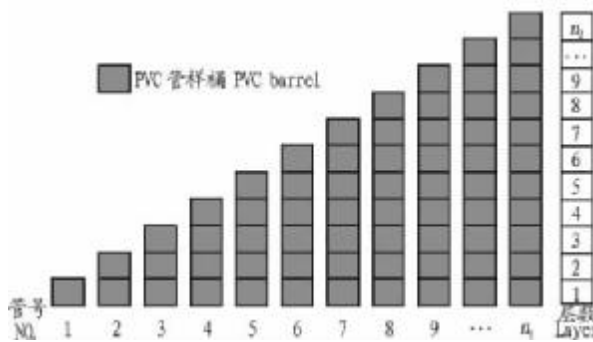


图 1 灌浆模型示意图

Fig.1 Sketch map of model

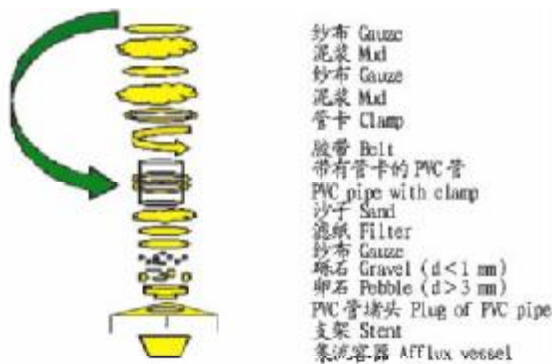
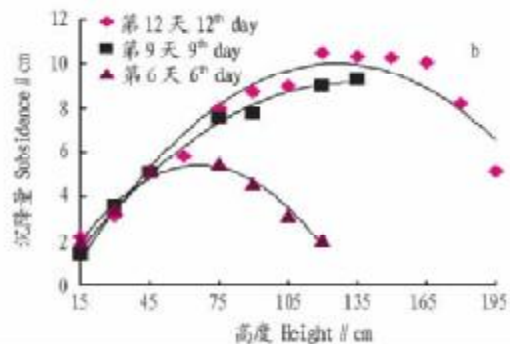
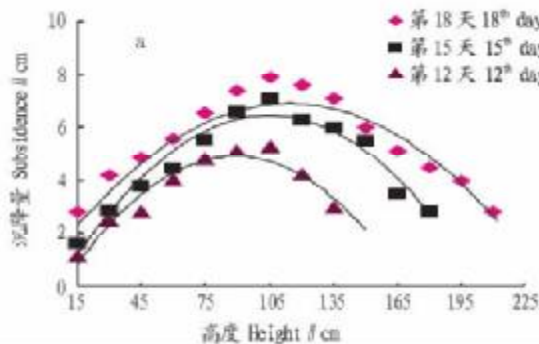


图 2 模型组装及加浆流程

Fig.2 Set up model and grouting flow

1.4 灌浆与取样 用搅拌均匀的土水比为 2 的泥浆灌浆。第 1 天浇筑模型 1 号到 n_1 号 PVC 管的第 1 层样桶;第 2 天首先测定 1 号 PVC 管第 1 层样桶的土壤性质,然后浇筑 2 号到 n_1 号 PVC 管的第 2 层样桶;第 3 天首先测定 2 号 PVC 管 1、2 层样桶的土壤性质,然后浇筑 3 号到 n_1 号 PVC 管的第 3 层样桶;依此类推,直到测完 18 号 PVC 管的每一层样桶。通



注:a. 灌浆速度 = 15 cm/d;b. 灌浆速度 = 25 cm/d。下图同。

Note a. Grouting speed = 15 cm/d; b. Grouting speed = 25 cm/d. The same as below.

图 3 灌浆过程中灌浆体沉降量与浇筑高度的关系

Fig.3 Relationship between subsidence and height

2.2 灌浆过程中不同浇筑高度泥浆的抗剪强度 2 种灌浆速度下,灌浆体某一天的抗剪强度随浇筑高度的增加呈指数递减(图 4 和表 2)。同一高度对应的抗剪强度随灌浆天数的增加而增加,增加幅度随高度的变化规律为:小—大—小—趋于相等。对于灌浆到某一天而言,当高度在 0~70 cm 范围内,曲线较陡,单位高度抗剪强度变化大;当高度大于 70 cm,曲线较平缓,单位高度抗剪强度变化小。图 4 表明,灌浆速度越大,达到相同的抗剪强度所需要的时间越短。

过这种浇筑和取样方式,可以得到每一高度泥浆土壤性质随浇筑时间延长和浇筑高度递增的动态变化规律。

该试验采用的灌浆速度为 15 和 25 cm/d,对应测定了灌浆到第 12、15、18 天和第 6、9、12 天时灌浆体土壤性质随高度的变化规律。

1.5 测定方法 湿密度用样桶测定;抗剪强度用十字板测定;含水率用烘干法测定;表面排水和下渗水用电子天平称量;体积变化用直尺测量。

2 结果与分析

2.1 灌浆过程中不同浇筑高度泥浆的均匀沉陷变形 沉陷变形是用来判定灌浆质量的一个重要指标^[1]。该试验中,以 2 种速度灌浆时灌浆体的沉陷量都表现为开始较大,以后减少,符合一般土体固结沉陷规律。

2 种灌浆速度下,当灌浆到某一天,泥浆均匀沉陷变形随高度的变化趋势同抛物线相拟合(图 3 和表 1)。均匀沉陷变形峰值随灌浆时间的延长而出现在不同的高度,如果以 $\Delta H(d_1)$ 表示灌浆到某一天的灌浆体均匀沉陷变形峰值,其中 ΔH 表示均匀沉陷变形峰值, d_1 表示对应灌浆天数,那么有 $\Delta H(18) > \Delta H(15) > \Delta H(12)$ (灌浆速度为 15 cm/d)和 $\Delta H(12) > \Delta H(9) > \Delta H(6)$ (灌浆速度为 25 cm/d);如果以 $h(d_2)$ 表示灌浆到某一天均匀沉陷变形峰值出现的高度,其中 h 表示高度, d_2 表示对应灌浆天数,那么有 $h(18) > h(15) > h(12)$ (灌浆速度为 15 cm/d)和 $h(12) > h(9) > h(6)$ (灌浆速度为 25 cm/d)。 h 值的大小与灌浆速度和灌浆天数近似线性关系,即 $h \approx 1/2 \times d \times v$,其中 d 为灌浆天数, v 为灌浆速度。图 3 显示,无论以何种速度灌浆,同一高度灌浆体的均匀沉陷变形在峰值 ΔH 出现之前随灌浆天数的变化不明显,而在峰值 ΔH 出现之后变化相对较大。达到相同的均匀沉陷变形峰值 ΔH 所需要的时间 t_v 表现为 $t_{15} > t_{25}$ 。

灌浆体是一种三相介质,与众多材料不同。在一般条件下,土的破坏形态是剪切破坏,通常以抗剪强度来衡量。根据室内试验和野外观察,发现土体在外力作用下,是沿着一剪切面(或剪切带)发生剪切破坏,在这个剪切面上的最大剪应力就等于该面上的抗剪强度,而抗剪强度又与该面上的法向应力有关。在灌浆过程中,不同高度的剪切面上,承受的法向应力不同。如果以 S_x 表示不同高度的抗剪强度,以 H_x 表示不同的浇筑高度,以 σ_x 表示对应高度的法向应力,其中

表 1 灌浆过程中灌浆体沉降量与浇筑高度的关系

Table 1 Relationship between subsidence and highness

灌浆速度 cm/d	天数 d	曲线方程 Curve equation	R^2
15	18	$y = -0.000 2x^2 + 0.108x + 1.246$	0.945
	15	$y = -0.000 4x^2 + 0.133x - 0.980$	0.928
	12	$y = -0.000 3x^2 + 0.137x - 0.734$	0.944
25	12	$y = -0.000 4x^2 + 0.182x - 1.472$	0.926
	9	$y = -0.000 3x^2 + 0.145x - 0.502$	0.993
	6	$y = -0.000 6x^2 + 0.173x - 0.386$	0.966

注: x 表示浇筑高度; y 表示沉降量。

Note: x represented pouring height; y was settlement.

$x = 1, 2, 3 \dots n$, 则有: 如果 $H_1 > H_2 > \dots > H_n$, 那么 $\sigma_1 < \sigma_2 < \dots < \sigma_n, S_1 < S_2 < \dots < S_n$, 所以由试验测得抗剪强度与高度的关

系为一下降曲线。对于同一高度 H_n 而言, 随着灌浆天数的递增, 该高度处灌浆体的 σ_n 在增加, 所以相应的 S_n 也在增加^[7]。

表 2 灌浆过程中灌浆体抗剪强度与浇筑高度的关系

Table 2 Relationship between shear strength and highness

灌浆速度 // cm/d	天数	曲线方程	R^2
15	18	$y = 23.72e^{-0.01x}$	0.893
	15	$y = 23.80e^{-0.01x}$	0.934
	12	$y = 25.06e^{-0.02x}$	0.973
25	12	$y = 26.54e^{-0.01x}$	0.972
	9	$y = 21.94e^{-0.01x}$	0.993
	6	$y = 22.08e^{-0.02x}$	0.948

注: x 表示浇筑高度; y 表示抗剪强度。

Note: x represented pouring height; y was settlement.

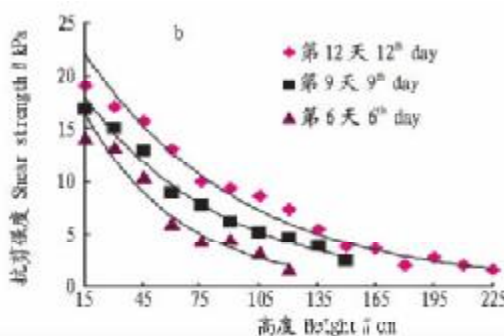
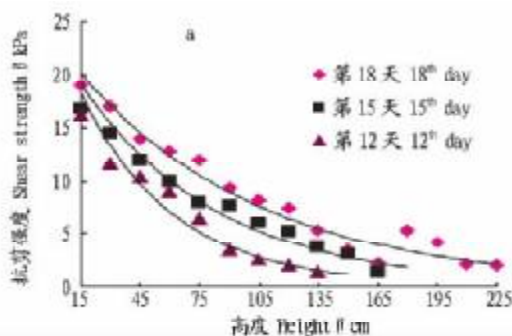


图 4 灌浆过程中灌浆体抗剪强度与浇筑高度的关系

Fig. 4 Relationship between shear strength and height

2.3 灌浆过程中不同浇筑高度泥浆的湿密度 图 5 表明, 无论以何种速度灌浆, 灌浆体湿密度随高度的增加而递减, 同一高度处的湿密度则随灌浆时间的延长而递增。如果以 $T(v)$ 表示达到某一湿密度所需要的时间, 其中 T 表示时间, v 表示对应的灌浆速度, 则 $T(15) > T(25)$ 。

随着水分的下渗, 灌浆体中的孔隙水压力逐渐消散而使

孔隙失去支撑, 受土体自重的作用, 灌浆体开始紧缩, 湿密度随之增大, 因此同一高度处的湿密度随灌浆时间的延长而递增。但由于该试验的指标是在灌浆过程中测定的, 所以, 随高度的增加泥浆所受的压应力和固结时间递减, 致使由低到高湿密度的变化呈现递减趋势。增大灌浆速度, 有利于缩短达到某一密度值所需要的时间。

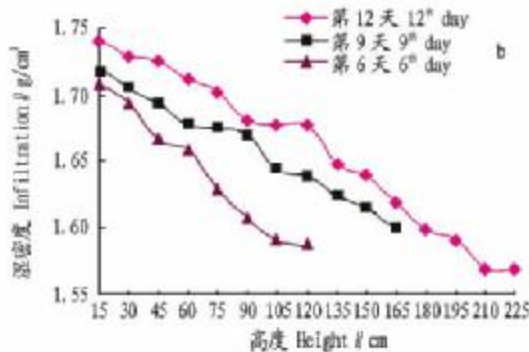
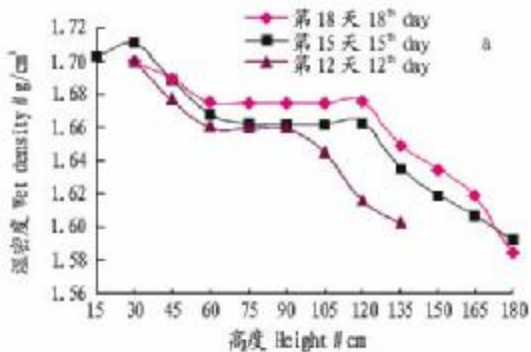


图 5 灌浆过程中灌浆体湿密度与浇筑高度的关系

Fig. 5 Relationship between density and height

2.4 灌浆过程中下渗量的变化 图 6 表明, 下渗量随灌浆天数的增加呈线性递减趋势。这是因为过饱和泥浆的沉淀析水过程与土体颗粒组成及水有关。粗颗粒土在沉淀过程中由于粒间没有联结力, 形成单粒结构。而粘粒成分具有胶体性质, 在水中由于水化膜的作用而形成水胶连接形式的结构, 这种结构疏松, 含水量高, 结合水占的比重大。所以在灌浆的过程中, 灌浆体起始受粘粒胶凝作用, 使泥浆胶结成稳定的团块, 孔隙比大, 相应的渗透性能也大, 排水固结速度

快, 但随着土体的逐步压密, 孔隙比减小, 渗透性能也相应降低, 因此, 下渗量随灌浆时间的延长呈线性递减趋势^[8-10]。

当灌浆速度为 15 cm/d 时, 下渗量与灌浆天数的线性关系为: $y = -5.220x + 138.200 (R^2 = 0.861)$; 当灌浆速度为 25 cm/d 时, 下渗量与灌浆天数的线性关系为: $y = -9.751x + 163.000 (R^2 = 0.944)$ 。从 2 个关系式可知, 当以不同速度灌浆时, 5~6 d 以前, 以 25 cm/d 速度灌浆的日排水量大于以 15 cm/d 速度灌浆的日排水量; 5~6 d 以后, 以 25 cm/d 速

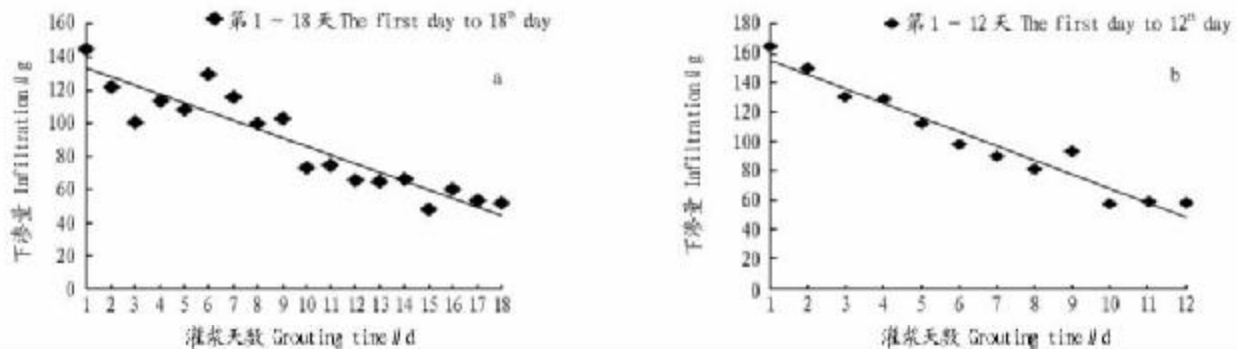


图6 下渗量与灌浆天数的关系

Fig. 6 Relationship between infiltration and grouting time

度灌浆的日排水量小于以 15 cm/d 速度灌浆的日排水量。

3 结论与讨论

(1) 以不同的速度灌浆时, 灌浆过程中灌浆体的沉降变形、抗剪强度、湿密度和下渗量等指标的总变化趋势相同。沉降量随高度的变化趋势以抛物线增减; 抗剪强度随高度的变化趋势以指数递减; 湿密度随高度的变化趋势没有明显的线性和非线性关系, 只是总体递减; 下渗量随灌浆天数的变化趋势以直线递减。这是因为泥浆的起始含水率相同, 灌浆过程中孔隙水压力消散的总体趋势相同, 孔隙比变化的总体趋势也相同, 只是变化幅度不同, 从而使得 2 种灌浆速度下, 相同指标对应的曲线类型相同, 只是曲线所在位置不同。

(2) 以不同的速度灌浆时, 对于同一高度的灌浆体, 其沉降变形、抗剪强度、湿密度均表现为灌浆速度大则相应的值大。只有下渗量的变化有所不同, 在 5~6 d 以前, 以 25 cm/d 速度灌浆的日排水量大于以 15 cm/d 速度灌浆的日排水量; 5~6 d 以后, 以 25 cm/d 速度灌浆的日排水量小于以 15 cm/d 速度灌浆的日排水量。这是因为在灌浆初期, 灌浆的速

度大相当于每日增加的荷载大, 压应力就大, 致使灌浆体的孔隙减小速度大, 孔隙中所含水分排出快, 但随着灌浆时间的推移, 灌浆体的最下层越来越致密, 接近不透水层。灌浆速度越高, 达到相同致密程度所需要的时间越短。

参考文献

- [1] 陕晋两省水坠坝试验研究工作组. 水坠坝研究成果汇编(第五集)[Z]. 1982-1985.
- [2] 中华人民共和国水利部. 水坠坝技术规范(SL302-2004)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [3] 中华人民共和国水利部. 水坠坝设计及施工暂行规定(SD122-1984)[Z]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [4] 中华人民共和国水利部. 土工试验规程(SL237-1999)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [5] 郑新民. 水坠坝设计与施工[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006.
- [6] 邵生俊. 平原地区水力冲填粉煤灰筑坝技术研究[J]. 水利学报, 2000, 2(2): 32-35.
- [7] 刘成宇. 土力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.
- [8] 崔云鹏, 蒋定生. 水土保持工程学[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1998.
- [9] ZHANG S Q, ZHU S J, LIU Y L, et al. Dynamic monitoring of the mud[J]. Agricultural Science & Technology, 2008, 9(4): 112-117.
- [10] 张伯平, 党进谦. 土力学与地基基础[M]. 西安: 西安地图出版社, 2001.

(上接第 14117 页)

3 结论与讨论

笔者对 5 株分离于腹泻病人的副溶血性弧菌进行了致病性实验, 结果表明, 5 株临床分离的副溶血性弧菌菌株对小鼠具有明显不同的致病性, 同时能在兔血平板上形成明显的溶血圈, 为 TDH 阳性菌株。

对同一种细菌外膜蛋白的 SDS-PAGE 图谱, 由于细菌的培养条件、制备方法以及菌株的不尽相同, 不同人的电泳图谱结果可能有所不同^[6]。该试验得不同副溶血性弧菌菌株的 OMP 电泳图谱中, 4 条主要蛋白带为所有菌株所共有, 其大致分子量为 50、40、33 和 24 kD。

该试验通过菌体免疫获得了效价高且特异性好的多克隆抗体, 与除副溶血性弧菌外的其他试验菌株均无交叉反应, 能够满足进行免疫试验的实际要求。Western blotting 分析显示, 该多克隆抗体与 5 株致病性副溶血弧菌可发生程度不等的阳性反应, 表示提取的外膜蛋白具有良好的抗原性。33 和 40 kD 两条蛋白带为所有菌株共有且能与血清发生明显的免疫反应, 表明这两条外膜蛋白有可能是致病性副溶血

弧菌的主要保护性抗原, 具备作为疫苗候选材料的可能性, 这为制备有效预防副溶血性弧菌引起的疾病的疫苗提供了理论基础。

参考文献

- [1] CROCI L, SUFFREDIN L. Comparison of different biochemical and molecular methods for the identification of *Vibrio parahaemolyticus* [J]. Journal of Applied Microbiology, 2007, 102: 229-237.
- [2] SU Y C, LIU C. *Vibrio parahaemolyticus*: A concern of seafood safety [J]. Food Microbiol, 2007, 1: 1-10.
- [3] 刘秀梅. 食源性疾病监控技术的研究 [J]. 中国食品卫生杂志, 2004, 16(1): 3-9.
- [4] 张伟妮, 周丽. 大菱鲆致病性溶藻弧菌 SR1 的外膜蛋白及其抗原性分析 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(3): 419-424.
- [5] 黄志坚, 何建国. 鲑点石斑鱼细菌病原的分离鉴定和致病性 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2002, 41(5): 64-67.
- [6] 张晓华, 徐怀恕. 副溶血性弧菌的外膜蛋白及其抗原性研究 [J]. 中国水产科学, 1997, 4(4): 49-53.
- [7] LAEMMLI K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 [J]. Nature, 1970, 227: 680-685.
- [8] 甯勇, 宁喜斌. 副溶血性弧菌多克隆抗体的制备及其特性分析 [J]. 食品与生物技术报, 2007, 26(3): 85-89.
- [9] MICHELLA M, McKinney and Andrew Parkinson. A simple, non-chromatographic procedure to purify immunoglobulins from serum and ascites fluid [J]. Journal of Immunological Methods, 1987, 96: 271-278.