青藏铁路沿线植被·土壤的类型·分布及特征分析

谢胜波¹, 屈建军^{1,2} (1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 沙漠与沙漠化重点实验室/敦煌戈壁荒漠研究站, 甘肃兰州 730000; 2. 甘肃省风沙灾害防治工程技术研究中心, 甘肃兰州 730000)

摘要 [目的]研究青藏铁路沿线植被、土壤的类型、分布及特征。[方法]通过野外调查方法,对青藏铁路沿线的植被、土壤的类型、分布及特征进行研究。[结果]青藏铁路沿线的植被以高寒高原和草甸为主,相应的土壤以高山草原土和草甸土为主,集中分布在昆仑山至念青唐古拉山路段。[结论]该研究可为青藏铁路的病害防治及资源开发提供依据。

关键词 青藏铁路; 植被; 土壤; 特征

中图分类号 S154.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)19-08268-03

Analyses on the Types, Distributions and Characteristics of Vegetation and Soil along Qinghai-Tibet Railway

XIE Sheng-bo et al (Key Laboratory of Desert and Desertification/Dunhuang Gobi and Desert Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract [Objective] The research aimed to study the types, distributions and characteristics of vegetation and soil along Qinghai-Tibet Railway. [Method] Types, distributions and characteristics of vegetation and soil along the railway were studied by field investigation method. [Result] The vegetation along Qinghai-Tibet Railway was dominated by alpine grassland and meadow, while the soil was dominated by alpine steppe soil and meadow soil corresponding along the railway. They both concentrated distributions at the sections from Kunlun Mountain to Nyainqentanglha Mountain. [Conclusion] The research could provide the basis for disaster control and resource development of Qinghai-Tibet Railway.

Key words Qinghai-Tibet Railway; Vegetation; Soil; Characteristics

青藏高原的自然环境既原始、独特又敏感、脆弱^[1-2],主要表现为植被稀疏、土壤贫瘠等^[3]。青藏铁路在修建过程中,对天然植被及地表土壤造成了一定的破坏^[4],影响铁路沿线的景观构成^[5]。但局限于青藏铁路的建设和通车只是近些年的事,有关铁路沿线自然环境的研究较少,特别是对植被和土壤的认识不充分。因此,笔者通过对青藏铁路沿线的植被、土壤进行调查,分析其类型、分布及特征,以期加深对青藏铁路沿线自然环境的认识,为铁路的冻土、风沙等病害防治以及旅游景观资源开发提供依据。

1 植被

青藏铁路跨越广阔的青藏高原,自然条件严酷,生态环境脆弱,其内部分布荒漠、草原、草甸、草原草甸、沼泽湿地、灌丛等植被区域^[6]。由于气候高寒干旱,暖季短,常年大风、土壤盐碱等因素的作用,只能生长一些耐低温、抗干旱、抗大风的低矮植物,年生长期不到4个月(6~9月正温季节)^[7]。沿线主要是以禾本科草类为优势种组成的高寒草原、草甸植被,往往呈斑块状不连续分布,植物种类因受水热条件的影响,沿铁路呈南多北少、东多西少的趋势^[8]。在山区路段,由于海拔的主导作用^[8],植被呈现出垂直分带特征^[9],表现为随着海拔增加,优势种、平均盖度、植物种类呈先上升后下降的趋势^[10],而平均高度和生物量随海拔升高一般呈递减趋势^[7,11]。

根据青藏高原的植被特征及国内植被分类采用的群落-生态学原则,青藏铁路沿线的植被可以分为荒漠、草

原、草甸、沼泽、灌丛等5种类型^[12],植被类型下又分温性荒漠、高寒荒漠、温性草原、高寒草原、高寒草甸草原、高寒荒漠草原、高寒草甸、高寒沼泽化草甸、高寒草甸化沼泽、温性灌丛、高寒灌丛等11种亚型(表1),以高寒草原与高寒草甸分布最广泛,它们不仅是青藏铁路沿线植被的典型,而且在亚洲中部乃至世界高寒地区也具有代表性^[13]。此外,在湟水谷地、拉萨河谷等部分水热条件较好的路段,还零星分布有极少量的森林和农业植被。

表1 青藏铁路沿线的主要植被类型及特征

类型	亚型	分布路段	主要特征
荒漠	温性荒漠	柴达木盆地路段	主要有驼绒藜、梭梭、柽柳、白刺、猪毛菜、合头草、沙拐枣、黄毛头、红砂、膜果麻黄等旱生及超旱生小乔木、灌木、半灌木。由于干旱闭塞,地表沙漠、戈壁、盐碱化土地发育,植被稀疏,呈片状分布,盖度约4%,种类稀少、群落简单,茎叶退化成针状或圆柱状
	高寒荒漠	铁路沿线海拔约5000m的高山路段	以点地梅为主的多年生高寒垫状植被,伴生有豆科、菊科等杂类,在高海拔多年冻土区呈斑块状分布,植被稀少、群落组成单一,总盖度约10%。此外,还有高寒流石坡稀疏植被(高山冰缘稀疏植被),它是在高山冰缘环境下形成的特殊植被类型,其上为冰雪或裸岩,其下接高寒草甸或垫状植被 ^[14] 。由雪莲、红景天等适冰雪植物为优势种组成,出现在铁路沿线高寒流石坡或倒石堆等冰缘生境下,结构简单,植被稀疏,盖度<10%,在冰缘区岩石表面常出现各种地衣 ^[15]
草原	温性草原	西宁-格尔木路段;念青唐古拉山-拉萨路段	以芨芨草、针茅、长芒草、藏布三芒草、白草、固沙草、藏白蒿、锦鸡儿、砂生槐等为优势种组成的中温性旱生多年生根茎草本植物、旱生小半灌木 ^[16] 。成片状不均匀分布,具有旱生小灌木或小半灌木层片,植物组成较复杂,盖度约40%
	高寒草原	昆仑山-念青唐古拉山路段	主要有针茅、苔草、羽穗毛、蒿草、白草、固沙草等从生禾草、根茎禾草、多年生草本、落叶灌木、小半灌木、杂草及伴生植物等,具有叶面小、叶片卷、气孔下陷、机械与保护组织发达、植株矮小呈垫状或莲座状、地下部分生物量大、根系发达、生育节律短等耐寒抗旱特点,物种较少,旱生植物所占比重较大,层次分化不明显,多呈不连续片状或条带状分布,面积大,平均盖度45%,是青藏铁路沿线最主要的植被类型

基金项目 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所青年人才基金项目(51Y351121);国家自然科学基金项目(40930741);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-329)。

作者简介 谢胜波(1984-),男,湖南湘潭人,助理研究员,博士,从事荒漠化及防治研究, E-mail: xieshengbo@lzb.ac.cn。

收稿日期 2013-05-26

接下表

续表 1

类型	亚型	分布路段	主要特征
高寒草甸草原	唐古拉山-念青唐古拉山海拔 4 300 m 以上路段	植被组成较高寒草原复杂,是高寒草甸与高寒草原的过渡类型,由耐寒的中、旱生多年生草本植物为优势种组成。主要有薹草、针茅、羊茅等从生禾草、根茎苔草、蒿草中偏中的一些植物及其伴生的多年生杂类草、半灌木,覆盖率 >60% ^[17] ,伴生植物种类较高寒草原丰富	
高寒荒漠草原	唐古拉山-九二头山海拔 4 700 ~ 5 000 m 的路段	属于高寒草原向高寒荒漠的过渡类型 ^[7] ,以青藏苔草为主要建群种,植被稀疏,地下根系发达,地上茎叶短小,高度为 8 ~ 15 cm,生长缓慢,生物量小,盖度为 15% ~ 40%	
草甸	高寒草甸	昆仑山-念青唐古拉山路段	以耐寒的中生多年生草本植物为建群种,主要有各种蒿草、苔草、扁穗草、多种禾草以及伴生杂草等,群落结构简单,植被稀疏低矮,甚至伏地生长,层次分化不明显,莲座型和体披绒毛的植物种类较多,地下草根层 8 ~ 15 cm,根系发达,生长期短,平均盖度 75%,在多年冻土区形成斑块状镶嵌结构,分布范围广,面积大,是青藏铁路沿线主要的景观植被类型
高寒沼泽化草甸	不连续分布在铁路沿线海拔 4000 m 以上路段	由中、湿生多年生草本植物为主发育形成,是高寒草甸向沼泽过渡的一种特殊类型。主要分布在铁路沿线发育有冻胀草丘和热融洼地的地表,以蒿草、苔草、扁穗草为主,禾本科种类较少,一般高 15 ~ 50 cm,直径 30 ~ 60 cm,组成较单一,很少有 2 个以上优势种组成的草地型,生长较好,层次分化不明显,平均盖度为 90%	
沼泽	高寒草甸化沼泽	零星分布在青海湖盆地、拉萨河谷等地表积水的洼地路段	是沼泽向高寒草甸过渡的一种类型,以湿、中生多年生植物为主要建群种,在植物生长期内,地表长期积水或土壤水分过饱和导致泥炭层或潜育层发育,地下多年冻土发育,常形成冻胀草丘,属隐域性植被类型。主要有蒿草以及苔草、灯心草、杉叶藻等伴生草类,种类较丰富,组成较简单,呈条带状或斑块状分布,盖度 75% ~ 90%
灌丛	温性灌丛	湟水河谷、拉萨河谷等海拔较低的河谷路段	以水柏枝为主的河谷灌丛群落,生长在河谷滩地等潮湿生境上,植株高达 160 cm,地下根系发达,常与披针草、苔草、海乳草、兰石草、蕨麻、黄芪等中生或湿生草本植物伴生,多沿河谷呈条带状分布,总盖度一般在 50% ~ 70%
	高寒灌丛	堆龙曲谷地、拉萨河谷等海拔较高的路段	以匍匐水柏枝为主的河谷灌丛群落,植株常匍匐平展形成小斑块,沿高原河谷呈条带状分布,伴生植物有点地梅、碱毛、蒿草、白草、香柏、锦鸡儿、绣线菊、杜鹃、金露梅、短芒草、高山柳等 ^[18] ,由于土壤贫瘠,组成较为单一,植被盖度仅为 20% ~ 30%

2 土壤

青藏铁路大部分路段成土时间短、成土过程缓慢、土壤年龄小、发育程度低,质地疏松粗糙,粘性强,养分欠缺,土壤较为贫瘠^[19]。根据土壤地理发生分类原则,青藏铁路沿线的土壤可以分为荒漠土、草原土、草甸土、沼泽土、灌丛土等 5 种类型,土壤类型下又分棕漠土、棕钙土、高山寒漠土、栗钙土、高山草原土、高山草甸草原土、高山草甸土、沼泽草甸土、草甸沼泽土、山地灌丛土等 10 种亚型(表 2),以高山草原土和高山草甸土分布最广泛,它们不仅是青藏铁路沿线的典型土壤,而且在亚洲中部乃至世界高寒地区也具有代表性。在山区路段,土壤的垂直分带性特征较明显^[8]。此外,在湟水谷地、拉萨河谷等部分水热条件较好的路段,由于零星分布有森林和农业植被,因此,铁路沿线还相应发育有极少量的森林和耕作土壤。尤其引人注目的是青藏铁路穿越世界上中、低纬度面积最大的多年冻土区,从昆仑山北麓的西大滩断陷盆地至唐古拉山南麓的安多河谷有 550 km 的多年冻土路段,受气温正负变化的影响,多年冻土活动层的日、季节冻融频繁,形成冻胀丘、冰锥、冻胀裂隙、多边形土、冻融滑塌、热融沉陷等特殊冻土灾害,这对青藏铁路的安全运行产生很

大影响。

表 2 青藏铁路沿线的主要土壤类型及特征

类型	亚型	分布路段	主要特征	
荒漠土	棕漠土	柴达木盆地中心路段	属于温带荒漠地区的地带性土壤,沙砾化、旱化、盐碱化特征明显,在沙砾质构成的荒漠上,多分化成富含钙质和石膏的沙质或沙砾质灰棕漠土、粗骨土和风沙土,而在洼地则易发育盐漠土、盐土等。土壤瘠薄,发育不良,有机质含量低,母质多为冲、洪积物 ^[2]	
	棕钙土	柴达木盆地边缘路段	由于降水少,淋溶作用弱,土壤发育程度低,有机质积累少,含量 < 0.72%,干燥贫瘠,粗砾质较多,通透性好 ^[2]	
	高山寒漠土	铁路沿线海拔约 5 000 m 的高山路段	土壤物质风化处于低级阶段,质地粗,夹杂有岩屑,成土时间短,成土作用缓慢,物质淀积和黏化现象不明显,发育较差,土层薄,土壤贫瘠	
草原土	栗钙土	湟水谷地、青海湖盆地路段	有 20 ~ 30 cm 的腐殖质层,颜色较浅,有机质含量较低,为 1% ~ 4%,层次分化较好,1 m 深度内有明显的钙质沉积层,pH 7.5 ~ 9.0,表层松软	
	高山草原土	昆仑山-念青唐古拉山路段	土壤质地疏松,结构性差,多为砾质、沙砾质或沙壤质,成土母质主要为洪积、冲积、湖积、残积、坡积和风积物等,成土过程缓慢,土层薄,约为 30 cm,有机质含量低,仅 0.5% ~ 1.7%,矿化度高,pH 8.0 ~ 8.6,呈弱碱性	
	高山草甸草原土	唐古拉山-念青唐古拉山海拔 4 300 m 以上路段	草皮层薄或不明显,质地以沙砾石为主,土壤有机质含量比高山草原土高,但有机质积累作用弱,呈弱碱性	
	草甸土	高山草甸土	昆仑山-念青唐古拉山路段	土壤发育程度较低,质地粗糙,母质为各种冰碛、冲积、坡积和残积物 ^[20] ,土层较薄,总厚度 30 ~ 50 cm,多砾石,透水性强,保水性差,表层常有 4 ~ 15 cm 厚的草皮层,有机质含量达 8% ~ 25%
	沼泽草甸土	不连续分布在铁路沿线河谷、盆地等排水不畅的低洼路段	因地势低,排水不畅,地表时常积水,土壤过份潮湿,在低温环境下,土壤中微生物的活动微弱,导致大量有机质积累,出现泥炭化,形成泥炭层,分布较普遍,但面积较小	
沼泽土	草甸沼泽土	分布在铁路沿线有积水的低洼路段	形成与沼泽草甸土相似,地表积水,地下有多年冻土形成的隔水层,导致地表水下渗困难,呈胀气状态,还原作用旺盛,在低温条件下,有利于泥炭的形成和积累,常常形成泥炭层、潜育层等 ^[14] 。母质以第四纪沉积物居多,有机质含量较高	
灌丛土	山地灌丛土	湟水河谷、堆龙曲谷地、拉萨河谷等路段	具有较厚的苔藓、枯枝落叶及疏松的草皮层,腐殖质层可达 50 cm,下接基岩,有机磷含量较高,淋溶作用较强,土壤在很大程度上继承了母质的原始特征	

3 结论

青藏铁路沿线的植被以高寒草原和高寒草甸为主,集中在昆仑山-念青唐古拉山路段,以禾本科草类为优势种,呈不连续分布。青藏铁路沿线的土壤以高山草原土和高山草甸土为主,集中分布在昆仑山-念青唐古拉山路段,土壤贫瘠,发育程度低。

参考文献

- [1] 程昊,陈泽昊. 青藏铁路荒漠地段沿线植被自然恢复的可行性探讨[J]. 中国铁路,2002(11):52-54.
- [2] 程昊. 青藏铁路荒漠地区植被类型及自然恢复初探[J]. 西藏科技,2003(9):54-57.
- [3] 张鲁新,熊治文,韩龙武. 青藏铁路冻土环境与冻土工程[M]. 北京:人民交通出版社,2011:3-16.
- [4] 朱勇,呼天明,王珍,等. 青藏铁路当雄至羊八井段路基边坡植被护坡研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(6):2424-2425.
- [5] 贺玉龙. 铁路景观的构成与景观因子初探[J]. 安徽农业科学,2010,38(1):458-460.
- [6] 李依环. 青藏铁路沿线(格拉段)植被特征及工程建设对植被多样性影响研究[D]. 雅安:四川农业大学,2008:10-26.
- [7] 陈志国,周国英,陈桂深,等. 青藏铁路格唐段高海拔地区植被恢复研

- 究—I 高寒草原植被现状与恢复基本途径探讨[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(23): 6283-6285.
- [8] 周金星, 易作明, 李冬雪, 等. 青藏铁路沿线原生植被多样性分布格局研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 173-177.
- [9] 黄秉维, 郑度, 李炳元, 等. 现代自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 234-257.
- [10] 马涛, 周金星, 张旭东, 等. 新建青藏铁路沿线各生态区植被分布特征研究初探[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 150-154.
- [11] 孙永宁, 王进昌, 韩庆杰, 等. 青藏铁路格尔木至安多段沿线高寒植被、土壤特性与人工植被恢复研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(4): 894-905.
- [12] 易作明. 青藏铁路(格拉段)沿线植被恢复研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007: 21-30.
- [13] 孙士云. 青藏铁路沿线的生态环境特点及保护对策[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2002, 29(3): 121-124.
- [14] 祝广华, 陶玲, 任琍. 青藏铁路工程迹地对植被的影响评价[J]. 草地学报, 2006, 14(2): 160-164.

- [15] 陈桂深, 孟延山, 卢雪峰, 等. 青藏铁路格唐段植被特征及其保护与恢复对策[J]. 生物学通报, 2006, 41(7): 1-4.
- [16] 淮虎银, 魏万红, 张镜铨. 青藏铁路温性草原区路域植被自然恢复过程中群落组成和物种多样性变化[J]. 山地学报, 2005, 23(6): 657-662.
- [17] 周金星, 董林永, 张旭东, 等. 青藏铁路唐古拉山南段沿线植被多样性及盖度特征分析[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(3): 24-30.
- [18] 张自和. 青藏铁路建设沿线的草地植被恢复与重建[J]. 草地学报, 2003, 11(3): 246-250.
- [19] 刘世海, 冯玲正, 许兆义. 青藏铁路 K1533 路基风蚀防治措施效益研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 68-71.
- [20] 郑度. 青藏高原形成环境与发展[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003: 200-224.

(上接第 8092 页)

3 PBP_s 在 β -内酰胺类残留检测中的应用

β -内酰胺类抗生素的抗菌机理即通过与青霉素结合蛋白的结合来干扰细菌繁殖过程中细胞壁的形成。基于这种抗原抗体作用式的特异性和高度亲和力, 研究人员开发了检测该类抗生素的特有方法, 即基于 PBP_s 检测 β -内酰胺类抗生素残留的生物传感器。

1999 年, Seidord 等^[14] 采用工作电极固定相应的青霉素结合蛋白并用此来衡量牛奶中的青霉素 G 的水平。同时该试验采用了 2~4 min 的温育步骤、快速洗涤步骤和 1~2 min 的检测步骤, 其检测限可达 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 优点为操作简单、试剂使用量小。

2004 年, Cacciatore 等^[15] 研究了一种基于 SPR 的检测牛奶中青霉素和头孢菌素残留的生物传感器。该方法通过对样品的特殊前处理, 成功消除了因不同样品带来的基质效应影响。该研究显示, 在牛奶中青霉素的最高残留检测值低于欧盟标准(4 $\mu\text{g}/\text{ml}$)。

2007 年, Lamar 等^[16] 利用肺炎链球菌的编号为 PBP2X* 的青霉素结合蛋白开发了一种新型检测和测定食品样品中是否具有完整 β -内酰胺结构的青霉素类和头孢菌素类抗生素的方法。首先将 PBP 2X* 固定到微孔板基底上, 同时加入地高辛标记的氨苄青霉素和样品(含 β -内酰胺类抗生素), 让两者竞争结合该包被蛋白; 然后使用辣根过氧化物酶(HRP)标记的地高辛 Fab 片段与用 DIG-AMPI 绑定 PBP 2X* 所形成的复合物进行特异性结合, 并用四甲基联苯胺作为过氧化物酶反应的显色剂, 同时通过优化 Box-Behnken 设计的参数, 使得检出限大幅降低。该研究显示, 对 β -内酰胺残留的定量测定, 如头孢哌酮、头孢唑肟、头孢唑啉、氯唑西林和氨苄西林, 最低检测限可达 2 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。除此之外, 此法还具有无需冗长而复杂的样品前处理过程的优点。

4 结语

青霉素类等 β -内酰胺类抗生素是一类广谱抗生素, 在农业生产和防治疾病中有着广泛的应用。但是由于人们的不合理使用, 导致了农产品中抗生素残留及抗药性细菌的产生, 危害人体健康。青霉素结合蛋白(PBP_s)以其具有和 β -内酰胺类抗生素特异性结合的能力, 使其在抗生素残留检测中有独特的应用, 并且可克服微生物法、仪器分析法和免疫分析法

法等检测技术的不足。因此关注青霉素结合蛋白的研究进展, 积极开展 PBP_s 分类、鉴定、克隆表达及在抗生素残留中的检测应用研究具有一定意义。

参考文献

- [1] DEKA R K, MACHIUS M, NORGDARD M V, et al. Crystal structure of the 47-kD Lipoprotein of *Treponema pallidum* reveals a novel penicillin-binding protein[J]. J Biol Chem, 2002, 277(44): 41857-41864.
- [2] HÖLTJE J V. Growth of the stress-bearing and shape-maintaining murein sacculus of *Escherichia coli*[J]. Microbiol Mol Biol Rev, 1998, 62(1): 181-203.
- [3] WAXMAN D J, AMANUMA H, STROMINGER J L. Amino acid sequence homologies between *Escherichia coli* penicillin-binding protein 5 and class A beta-lactamases[J]. FEBS Lett, 1982, 139(2): 159-163.
- [4] SPRATT B G. Properties of the penicillin-binding proteins of *Escherichia coli* K12[J]. Eur J Biochem, 1977, 72(2): 341-352.
- [5] GEORGOPAPADAKOU N H, SMITH S A, BONNER D P. Penicillin-binding proteins in a *Staphylococcus aureus* strain resistant to specific beta-lactam antibiotics[J]. Antimicrob Agents Chemother, 1982, 22(1): 172-175.
- [6] MOUZ N, GORDON E, DI GIULMI A M, et al. Identification of a structural determinant for resistance to β -lactam antibiotics in Gram-positive bacteria[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1998, 95: 13403-13406.
- [7] GOFFIN C, GHUYSEN J M. Multimodular penicillin-binding proteins; an enigmatic family of orthologs and paralogs[J]. Microbiol Mol Biol Rev, 1998, 62(4): 1079-1093.
- [8] ZIMMERMANN W. Penetration of beta-lactam antibiotics into their target enzymes in *Pseudomonas aeruginosa*; comparison of a highly sensitive mutant with its parent strain[J]. Antimicrob Agents Chemother, 1980, 18(1): 94-100.
- [9] WEBER K, OSBORN M. The Reliability of Molecular Weight Determinations by Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis[J]. J Bio Chem, 1969, 244: 4406-4412.
- [10] LEE D W, PEGGIE M, DEAK M, et al. The Dac-tag, an affinity tag based on penicillin-binding protein 5[J]. Analytical Biochemistry, 2012, 428(1): 64-72.
- [11] INGLIS S R, STRIEKER M, RYDZIK A M, et al. A boronic-acid-based probe for fluorescence polarization assays with penicillin binding proteins and β -lactamases[J]. Analytical Biochemistry, 2012, 420(1): 41-47.
- [12] SARAH S, LOUISE B, VINCENZO R, et al. Crystal Structures of Penicillin-Binding Protein 3 from *Pseudomonas aeruginosa*; Comparison of Native and Antibiotic-Bound Forms[J]. J Mol Biol, 2011, 405(1): 173-184.
- [13] STUDIER F W. Protein production by autoinduction in high density shaking cultures[J]. Protein Expression Purif, 2005, 41(1): 207-234.
- [14] SETFORD S J, BLANKWATER Y J, KROGER S. Receptor binding protein amperometric affinity sensor for rapid beta-lactam quantification in milk[J]. Analytica Chimica Acta, 1999, 398(1): 13-22.
- [15] GIUSEPPE CACCIATORE, MICHAEL PETZA, SHWAN RACHIDB, et al. Development of an optical biosensor assay for detection of β -lactam antibiotics in milk using the penicillin-binding protein 2x[J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 520: 105-115.
- [16] JANINE LAMAR, MICHAEL PETZ. Development of a receptor-based microplate assay for the detection of beta-lactam antibiotics in different food matrices[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 586(2007): 296-303.