

侯本民,张培通,何绍平,等.丰县山药产业发展状况与对策[J].江苏农业科学,2017,45(2):281-284.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.02.078

# 丰县山药产业发展状况与对策

侯本民<sup>2</sup>,张培通<sup>1</sup>,何绍平<sup>1</sup>,郭文琦<sup>1</sup>,韩晓勇<sup>1</sup>,李春宏<sup>1</sup>,殷剑美<sup>1</sup>,王立<sup>1</sup>

(1.江苏省农业科学院经济作物研究所,江苏南京 210014; 2.江苏省丰县农业委员会,江苏丰县 221700)

**摘要:**根据江苏省徐州市丰县山药产业的调研情况,着重从种植技术与模式、种植效益成本、产业模式等 3 个方面阐述丰县山药生产概况;在此基础上,从山药特色品种、种薯供应、栽培技术、现代农业新技术、生产条件和装备水平、产业体系等方面,分析丰县山药产业发展目前存在的问题和未来发展趋势;围绕生产和产业问题分析丰县山药产业发展的急切技术需求;从山药产业的政策扶持、山药的技术研发、农田基础设施水平提升、山药龙头化企业培植等 4 个方面提出推动丰县山药产业发展的政策建议,为丰县山药产业可持续发展提供支持。

**关键词:**江苏省丰县;山药;发展状况;对策;技术需求

**中图分类号:** F326.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)02-0281-04

丰县位于江苏省徐州市西北部,处于苏、鲁、豫、皖 4 省交界之地,全县辖区面积 1 450.2 km<sup>2</sup>,其中耕地面积 75 929.98 hm<sup>2</sup>。丰县农业资源十分丰富,是著名的特种蔬菜之乡,全县蔬菜复种面积 5.04 万 hm<sup>2</sup>,其中规模连片种植面积 3.87 万 hm<sup>2</sup>,形成 9 个省级无公害农产品生产基地。近年来,丰县依靠丰富的农副产品资源,出口创汇农业得到较快发展,出口创汇蔬菜规模种植面积 4 万 hm<sup>2</sup>,形成 5 个特色出口创汇蔬菜基地,在国内外享有较高的声誉<sup>[1]</sup>。山药是丰县重要的特色蔬菜和出口创汇蔬菜,种植历史悠久,种植规模大,种植面积稳定。丰县土壤系黄泛冲积沉淀物发育起来的黄潮土<sup>[2]</sup>,表土覆盖以沙土为主,土层深厚,质地疏松,透气性强,深厚的土层和沙壤土为山药的生长发育和种植收获提供了得天独厚的自然条件,也造就了高品质的山药产品<sup>[3]</sup>。近年来,尽管丰县加快种植结构调整,根据自身条件和特点,大力发展山药产业,并形成了山药无公害生产基地和出口创汇基地,但在推动山药产业转型升级过程中,众多瓶颈问题日益凸显。为此,笔者所在课题组对丰县山药产业发展状况和经营者需求进行了调研,探索丰县山药产业发展对策,以期对丰县山药产业发展提供指导。

## 1 生产概况

丰沛地区已经发展成为江苏省最大的山药种植基地,据不完全统计,丰县山药种植总面积达 0.4 万 hm<sup>2</sup>,主要分布在王沟镇、梁寨镇、范楼镇等。笔者所在课题组对丰县山药生产情况进行了调研,基本可以反映丰县山药的种植状况。

### 1.1 种植技术和模式

#### 1.1.1 引进品种为主 引进和选育适宜当地条件、具有优质

特色的山药新品种,是当地山药产业发展的基础。丰县种植的山药品种主要是外地引进品种,如日本白山药、铁棍山药,也有外来引进品种经当地多年筛选获得的地方特色品种,如“九斤黄”水山药品种,但这些品种也因多年自发自选留种而面临严重退化。

当地山药种薯供种方式主要以群众自发筛选留种为主,种薯质量总体较好。当地种植户和技术人员也总结形成了一些好的经验,如山药种植户定期购买新疆等西部地区种植的“九斤黄”山药种薯,定期更换山药种薯,实现山药品种的复壮。但当地普遍缺乏正规的山药种薯供应渠道,常有种植户因购买劣质种薯而遭受损失的现象发生,如山药种植户购买带线虫的山药种薯而严重影响山药的产量和品质。

1.1.2 手工作业为主 丰县山药种植仍以手工作业为主,目前仅在山药种植的整地、深旋粉垄环节基本实现机械化,其余的管理、采收均为人工作业,用工多,劳动强度大<sup>[4]</sup>。丰县山药种植面积较大,分布相对集中,有利于机械化发展。调查发现,导致机械作业率低主要有 2 个方面的原因:一是无机可用,山药是“小作物”,专用农机具销量不大,农机研发和制造的积极性不高,研发的农机具实用性不高,制造的农机具不规范、质量不好、实用性差,目前仅有深旋粉垄机械应用较广;二是无政策促进,专用农机具制造量小,生产成本低,售价太高,且目前所有山药种植相关农机具都未纳入农机补贴,也无相关促进政策,有些种植户想用买不起,专业农机服务组织因服务市场有限、购置成本太高而不愿从事该业务。上述状况严重限制了山药种植配套机械的应用。

1.1.3 常规种植为主 目前山药种植技术是以追求高产高效和省工节本为主要目标的常规种植。为了高产和省工采取以化学肥料为主的施肥方式;病虫害防治以化学防治为主,且多数是发病初期的药物防治;仅有极少数种植户采取有机型生产技术。调研发现山药采取常规种植技术的面积达 99% 以上。

### 1.2 种植效益和成本

分析山药种植效益(表 1)可知,山药的产值比较高,平均超过 15 万元/hm<sup>2</sup>,且较其他根茎类作物产值更为稳定,可能

收稿日期:2016-06-17

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(16)1019]。

作者简介:侯本民(1965—),男,江苏丰县人,高级农艺师,主要从事农业技术推广研究。E-mail: fxbhm@126.com。

通信作者:何绍平,副研究员,主要从事农业科研管理研究。  
E-mail: hesp@jaas.ac.cn。

表 1 山药种植效益分析

品种	产量(kg/hm <sup>2</sup> )		价格(元/kg)		产值(万元/hm <sup>2</sup> )	
	平均	变幅	平均	变幅	平均	变幅
水山药	67 500	52 500~75 000	2.6	2.2~3.0	17.6	10.5~22.5
铁棍山药	18 750	15 000~22 500	8.0	6.0~10.0	15.0	9.0~22.5
日本白	41 250	37 500~45 000	3.5	3.0~4.0	14.4	11.3~18.0

是由于近几年山药一直是内销市场的热销产品,消费量逐年增长。

对丰县山药种植大户的调研结果(图 1)表明,山药种植环节成本约为 9 万元/hm<sup>2</sup>,山药用工成本占总成本的 50%,约为 4.5 万元/hm<sup>2</sup>,因此,规模种植大户生产中用工成本是山药种植成本的最大部分。

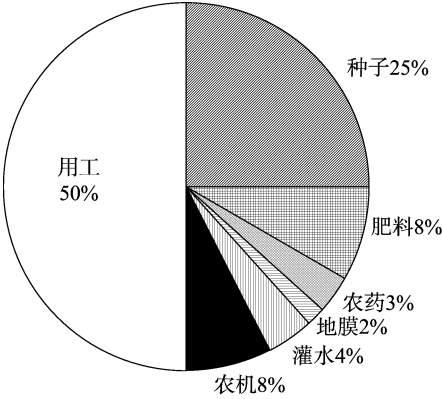


图 1 山药种植成本分析

1.3 产业模式

1.3.1 生产模式 近年来,丰县山药规模种植基地逐年增加,但仍以农户小面积种植为主,有利于降低用工成本,但不利于优良品种及其种薯的应用、配套农机的使用 and 现代农业产业的形成。目前,山药合作社种植(种植规模通常为 6~20 hm<sup>2</sup>)占 30%左右,农户零星传统种植占 70%(单户种植面积一般为 0.3~1.3 hm<sup>2</sup>)。

1.3.2 销售方式 调研发现,山药的销售模式有 3 种:一是“经纪人”到田头(村头)收购,再由“经纪人”将新鲜产品销售到外地市场、企业,以这种方式销售的山药产品占 96%;二是种植大户订单生产,主要是种植大户与企业签订生产订单后,包地种植,产品按照订单要求销售给有关企业,其生产规模都在 20~67 hm<sup>2</sup>,以这种方式销售的山药产品占 1.5%左右;三是企业设立基地生产,主要是相关加工企业为了宣传和展示需要,在该地区流转农民土地,设立自己的生产基地,产品全部由企业消化,所占比例很低,且这些企业的加工产品主要是保鲜产品和净菜产品。可见,丰县山药种植产品绝大部分是以新鲜产品通过“经纪人”的渠道销售出去。

2 问题和趋势

2.1 主要问题

2.1.1 缺乏当地的特色品种 丰县山药种植品种主要是外来引入的品种,且缺乏对引进品种在当地进行科学系统的筛选改良,难以形成地方特色品种。问题主要表现在 2 个方面:一是山药品种与其他产区雷同,品种同质化导致产品特色不鲜明,对产品品牌塑造、产业特色形成都十分不利;二是主栽

特色山药品种没有得到很好的保护和复壮,退化严重,如“九斤黄”山药品种是经当地多年种植过程筛选获得的地方优良品种,混杂退化严重,品种优良特性逐渐丧失,加上水山药营养保健品种较差,市场销售趋冷。

2.1.2 种薯供应不规范 丰县山药种植所需种薯主要是农民自己留种,种薯混杂退化严重。原因主要有 3 个方面:一是农民一直选用山药嘴子或山药段做种薯,进行无性繁殖,容易导致种薯带病虫退化;二是环境诱导自然变异,在留种时由于没有去除不良变异植株,留下不良种薯,引起品种混杂退化;三是部分农民缺乏种薯选留知识,对品种提纯复壮不够重视(如农户为增加收入,把块茎粗长的作为商品销售,短小的留作下一年生产用种),导致山药产量品质退化严重。此外,不少农户在种薯保存时操作不当,如种薯切块后不经晾晒,伤口没有愈合直接裹粉,裹粉不彻底,对种薯保护效果差,后期病害发生偏重。

2.1.3 部分栽培技术应用不当 尽管丰县种植山药历史悠久,农民山药种植经验丰富,但在实际操作过程中仍存在一些问 题。一是水肥管理不合理。丰县土壤质地为沙土,有机质含量低,保肥保水能力差,在种植过程中农户难以掌握按需水肥供应、配方施肥等科学水肥管理方法,水肥利用率低,增产提质效果差。二是重茬障碍严重。丰县山药种植面积较大,且农户有长期种植的习惯,因此在田块轮作换茬方面空间有限,尤其种植大户流转土地规模种植山药,换茬空间更小,连作障碍严重。目前种植户主要通过在同一田块每年更换定植垄的方式种植,这样便于田间粉垄作业,但在减轻连作障碍效果方面有限,农户由于缺乏克服山药连作障碍的相关知识经验,病虫害发生严重。

2.1.4 现代农业新技术应用差 促进现代农业新技术的应用,是山药产业技术提升的关键。目前,山药栽培技术仍沿用传统常规栽培技术,现代农业新技术研究应用少。山药不耐重茬,又缺乏有效克服山药连作障碍的技术体系。山药属于营养保健食品,绿色安全生产技术要求更高,急需现代生物农药、生物防治、有益菌肥等病虫害绿色防控措施的集成创新与应用。

2.1.5 生产条件和装备水平低 山药种植生产条件相对较差,对山药生产发展的限制因素主要表现在以下 2 个方面。一是山药田灌溉排涝条件差。山药种植都是地势高亢地块,灌溉水源没有保障,水利设施建设普遍较差,水利设施也不配套,大多数属于灌排不能完全保障的中低产田,气候灾害对生产的影响较大,山药种植后期干旱,严重干旱会影响块茎膨大,而雨涝则塌沟造成减产甚至绝收。二是机械化生产水平低。山药种植涉及深挖土作业,劳动强度大,用工投入多,配套机械的应用对减少用工、降低成本效果十分明显,如山药应用粉垄机械后,种植环节用工从 720 工日/hm<sup>2</sup>,降低到 525 工日/hm<sup>2</sup>。然而,目前山药种植环节配套专用机械研发和制造还严重滞后,山药采挖完全依赖人工,种植环节费力、费事、费工,不适宜规模化生产。

2.1.6 产业体系存在一些缺陷 丰县山药产业调研结果显示,在产业体系塑造上主要存在 3 个方面问题。一是以“经纪人”为主的营销模式,限制了产业壮大和水平提升。调查结果显示,96% 以上的山药通过“经纪人”销售,而“经纪人”

销售体系是土地承包到户时期发展起来的产品销售模式,随着现代农业的发展,这种销售体制成为限制产业发展的潜在因素。主要原因有 4 个方面:首先,由于“经纪人”信用差,种植户、企业(市场)对“经纪人”都不信任,很难建立起一种互惠互利的长久合作关系;其次,“经纪人”逐利心太重,常出现行情好时争相采购,行情差时压级压价,甚至欺行霸市等行为,危害市场健康发展;第三,“经纪人”能力有限,开拓新市场和销售带动能力有限,在规模化种植户大量产品上市期间,出现“销售难”局面;第四,由于“经纪人”各自为阵,分散经营,不利于打造品牌,促进产业提升。二是外来引进品种常规种植的格局,限制了产品品牌发展和提升。地方特色品种对产品特色的形成至关重要,经筛选改良的地方特色品种,造就了地方优质特色产品,对促进产品销售作用明显。由于丰县山药品种是外来引进品种,所用品种与其他地区相似,产品同质化现象严重,不利于形成当地山药产品的特色。另外,山药种植采取化学肥料、化学农药为主的常规种植方式,产品口感品质和安全品质不高。三是以手工作业为主的生产方式,限制了生产向现代农业转型。山药的专用配套农机研发和制造滞后,种植环节以手工作业为主,费力、费事、费工,在一家一户的零星种植模式下,山药种植仍能获得高效益,但规模种植模式下,劳动力成本成为种植环节的最大成本投入,是影响种植效益的主要因素。要实现山药产业的可持续发展,就要按照现代特色农业产业要求,建立以适度规模种植为基础,应用现代新技术和现代新装备,采取现代科学管理方式。目前以手工作业为主的生产方式,既不能满足规模化种植需要,又不利于现代新技术和新装备的应用,也不利于现代科学管理方式的应用,严重限制了山药生产向现代农业产业的升级转型。

## 2.2 发展趋势

随着城市居民生活水平的提高,消费热点不断变化,作为具有营养保健作用的山药正成为市场消费的热点。据丰县调查情况,山药由于产值较高,平均在 15 万元/hm<sup>2</sup> 以上,年度之间相对稳定,低的年份在 10.5 万元/hm<sup>2</sup> 以上,其生产成本约为 9 万元/hm<sup>2</sup>,其中物质成本约为 4.5 万元/hm<sup>2</sup>,在规模种植条件下,即使市场价格最低年份也能盈利,若农户零星种植,收益还是可观的,市场风险相对较小,种植环节的风险主要是雨涝导致塌沟的影响,因此无论是规模种植户,还是零星种植户都愿意扩大山药种植面积。

## 3 技术需求

### 3.1 优质特色品种

丰县山药品种多是外来引进的品种,与周边地区雷同,产品同质化严重。引进和选育适应当地条件、具有当地特色的山药优良品种,一方面可以丰富丰县山药产品,另一方面在扩大山药种植规模的同时,利于维持山药产品价格的稳定,是推动山药发展成为当地现代特色农业产业的基础。据调查,丰县种植户需要的山药优质特色品种为耐旱性、抗病性强且营养保健和口感品质均优的山药新品种,以形成当地优质保健特色的山药产品。

### 3.2 复壮优良种薯

由于长期群众自留种,种薯自由串换,供种渠道不规范,导致品种混杂和带病退化严重,已严重影响当地山药产量和

品质,技术上做好 2 点:首先要对生产主栽品种进行提纯复壮,其次要繁殖不带病毒(病原)的种薯<sup>[5]</sup>。生产上迫切需要复壮的优良种薯,主要是非产区异地繁殖的山药种薯。

### 3.3 轻简机械栽培

山药栽培技术体系是在原有零星种植基础发展起来的,栽培技术比较复杂,费时费力<sup>[6]</sup>。随着现代农业生产方式的推进,规模化种植大户的发展,山药栽培技术适应现代农业作业的轻简化迫在眉睫。据调查,种植大户普遍要求科技部门在保证原有产量、品质的基础上,形成山药轻简栽培技术体系,对山药轻简栽培技术的需求主要包括 4 个方面:一是山药的浅生轻简栽培技术,以有效解决雨涝塌沟的危害,也为机械化收获创造条件;二是田间管理措施的简化,如简化中耕除草、化学除草、简化整枝理蔓等管理措施,减少日常性管理用工;三是科学施肥技术体系,高效有机肥、缓释肥、长效肥、叶面喷施高效肥等,在保证高产优质的基础上,减少施肥次数、提高施肥效率;四是高效简便的农机具,提高效率,提高精度,降低劳动强度,促进关键措施的正确落实<sup>[7]</sup>。

### 3.4 绿色生产技术

随着规模化种植,山药的病虫草害日益严重,目前以化学防治为主,给丰县山药的食品安全性带来了严重威胁。据调查,生产上迫切需求 3 类绿色生产技术:(1) 高效有益菌肥及科学施用技术体系,以菌抑菌,控制病害;(2) 地下害虫的生物和物理防治技术体系,有效控制,降低损失;(3) 生物农药、低毒高效化学农药的引进和示范,提高化学防治效果,确保食品安全性。

### 3.5 保鲜储存技术

山药主要以鲜销产品上市,对保鲜储存技术需求十分迫切。山药是日常消费品,而山药上市期集中在秋季和冬季,为了保证全年日常供应,需要长期保鲜储存技术。

## 4 政策建议

### 4.1 加强山药产业的扶持政策

认真分析和研究丰县山药生产的形势和发展方向,对山药产业发展进行精准扶持,主要包括 4 个方面:一是科学规划,适当扩大山药种植面积,推动山药发展为当地的现代特色高效农业产业;二是政策鼓励,加大农田基本建设投入,实行农机补贴、良种补贴等政策,推动新型农业经营主体发展山药适度规模种植基地;三是扶持和推动山药优质种薯生产企业、产品加工和销售产业化企业的发展;四是推动山药新型销售体系的形成,大力鼓励“农超对接”、网络销售企业发展,支持销售型企业在当地建立山药生产基地。通过政策引导和推动,促进山药产业发展形成极具地方特色的产业。

### 4.2 促进山药的技术研发

大力推进山药技术创新产学研联合体的建立,围绕促进山药产业链发展的需要,布局产业技术创新链。根据产业链技术创新链的需要,引入创新团队,开展有效的技术研发和科技服务,形成山药产业链全程技术研发和服务的科技联合体。在优良品种引进和选育、优质种薯扩繁技术、轻简栽培技术、节水灌溉、绿色防控技术、保鲜储存技术等方面的技术创新研发取得突破,全面提升产业体系发展的技术水平。

#### 4.3 提升农田基础设施水平

加强基础设施建设,提高山药种植基地的生产能力是推动和促进丰县山药产业发展的基础保障。重点加强 4 个方面的基础设施建设:一是加强山药规模化种植基地农田基础设施建设,加强山药种植基地的微喷滴灌等节水灌溉设施建设,提升生产基地的灌排能力,确保生产基地达到“早能灌,涝能排”的高产农田标准;二是加强山药规模生产基地的田间道路建设,确保基地产品全天候对外运输;三是加强山药规模生产基地的配套大棚、冷库等辅助设施建设,确保生产基地产品保存、处理和育苗的需要;四是加强山药规模生产基地农田林网等防护条件建设,提高生产基地生产保障能力。

#### 4.4 培植山药产业化龙头企业

培育现代山药高效特色产业,必须依靠产业化龙头企业,根据该地区山药产业发展现状,应着重促进产品销售为主的三类产业化龙头企业,改变山药销售以“经纪人”为主渠道的现状。

4.4.1 营销企业 积极推动和发展“农超对接”产品销售体系,通过建立规模化种植基地+企业的产业模式,推动企业为主导的产品种植、收购和保鲜初加工、物流配送产品销售体系;构建规模化种植基地+企业的产业模式,形成“互联网+山药”的现代农产品线上营销体系,建设产品种植、收购和保鲜初加工、物流配送的线下产品销售体系,形成覆盖一定地区山药生产的现代化农产品销售企业。

4.4.2 出口企业 引进农产品外贸企业建立规模化种植基

地+企业的保鲜加工、出口销售的产品出口销售体系,形成覆盖一定地区山药生产的外向型农产品销售企业。

4.4.3 深加工企业 引进和新建山药深加工企业,加强以山药产品为主的营养保健品的科学加工技术研发,发挥山药的营养保健功能,建立规模化种植基地+企业的产品种植、收购和深加工产业化体系,形成覆盖一定地区山药生产的现代化农产品加工企业。

#### 参考文献:

- [1] 赵成义,于启建,谭立星,等. 丰县蔬菜产业发展现状、存在的问题及对策[J]. 安徽农学通报,2013,19(10):62-63.
- [2] 侯宗海,渠立强,朱显忠,等. 丰县土壤养分含量状况与分析[J]. 现代农业科技,2011(13):264-265.
- [3] 周志林,唐君,史新敏,等. 6 个不同类型山药品种引种鉴定及特色品种筛选[J]. 江西农业学报,2010,22(5):66-67.
- [4] 史新敏,周志林,唐忠厚,等. 江苏省淮山药生产现状与产业发展[J]. 江苏农业科学,2010(5):527-528.
- [5] 韩晓勇,闫瑞霞,殷剑美,等. 铁棍山药组织培养快繁及试管芽离体再生体系研究[J]. 西北植物学报,2013,33(10):2120-2125.
- [6] 殷剑美,闫瑞霞,韩晓勇,等. 秸秆套网袋栽培对紫山药产量及品质的影响[J]. 浙江农业学报,2014,26(1):61-66.
- [7] 刘庞源,宋曙辉,张宝海,等. 紫山药种质资源的引进和栽培技术[J]. 中国蔬菜,2011(13):45-46.

(上接第 264 页)

0.01)。说明采用低浓度的乙醇处理细胞,细胞拉曼光谱有明显变化,但反应程度较小;而采用较高浓度的乙醇处理细胞,如体积分数为 5.0%,细胞反应极显著而且剧烈( $P < 0.01$ ;  $R = 0.54$ )。同时,由相似性分析得到的细胞反应程度( $R$ 值)与乙醇浓度之间呈现很强的线性相关(皮尔森系数为 0.96)。这说明,根据细胞在不同浓度乙醇中的单细胞拉曼光谱变化情况,可以对细胞外环境中乙醇浓度进行预测。与传统的乙醇试剂盒相比,这种方法不仅可以提供乙醇的浓度信息,还能提供细胞代谢层面的变化信息。

### 3 结论

目前在单细胞水平研究细胞的刺激反应的方法是非常有限的,本研究中介绍的单细胞拉曼技术结合显微操作技术,是一种非标记的、不依赖于群体细胞的研究,并且其独特的灵敏性使之具有更广阔的应用前景。在本研究中,以乙醇作为刺激物,通过设置一系列浓度的刺激,监测不同浓度乙醇处理下细胞的单细胞拉曼光谱变化,从而对细胞的反应进行表征。通过结合多变量分析,使得单细胞拉曼光谱表征的细胞刺激反应更具统计意义。但是,单细胞拉曼光谱表征细胞应激反应在精度上是有待提高的,不能精细地表征细胞内特定成分的变化,须要与其他方法联用。但本方法是一种新颖、独特、灵敏的检测细胞应激乙醇的代谢物反应,并且可以对胞外乙醇浓度进行有效地预测,同时对其他环境刺激物的监测也具有指导作用。

#### 参考文献:

- [1] Balat M, Balat H. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel[J]. Applied Energy, 2009, 86(11):2273-2282.
- [2] Soufi B, Krug K, Harst A, et al. Characterization of the *E. coli* proteome and its modifications during growth and ethanol stress[J]. Frontiers in Microbiology, 2015, 6(2):218-222.
- [3] Chong H Q, Huang L, Yeow J W, et al. Improving ethanol tolerance of *Escherichia coli* by rewiring its global regulator cAMP receptor protein (CRP)[J]. PLoS One, 2013, 8(2):e57628.
- [4] Kasavi C, Eraslan S, Arga K Y, et al. A system based network approach to ethanol tolerance in *Saccharomyces cerevisiae*[J]. BMC Systems Biology, 2014, 8(1):22536-22553.
- [5] Lin L, Ji Y T, Tu Q C, et al. Microevolution from shock to adaptation revealed strategies improving ethanol tolerance and production in *Thermoanaerobacter*[J]. Biotechnology for Biofuels, 2013(6):103.
- [6] Yang H S, Giannone R J, Dice L, et al. *Clostridium thermocellum* ATCC27405 transcriptomic, metabolomic and proteomic profiles after ethanol stress[J]. BMC Genomics, 2012, 13(1):1-17.
- [7] Zu T N K, Athamneh A I M, Wallace R S, et al. Near-real-time analysis of the phenotypic responses of *Escherichia coli* to 1-butanol exposure using Raman spectroscopy[J]. Journal of Bacteriology, 2014, 196(23):3983-3991.
- [8] Long F, Zhu A, Shi H C. Recent advances in optical biosensors for environmental monitoring and early warning[J]. Sensors, 2013, 13(10):13928-13948.