

微生物资源在茶产业中的应用现状及展望

胡桂萍^{1*}, 刘波², 石旭平¹, 曹挥华¹, 陈李林³, 杨普香¹, 高其章¹, 杨艳¹

(1. 江西省蚕桑茶叶研究所, 南昌 330202; 2. 福建省农科院农业生物资源所, 福州 350003;
3. 福建农林大学应用生态所, 福州 350002)

摘要: 随着生态农业发展和现代生物技术的不断进步, 茶产业进入转型发展期, 走生态、绿色、环保的环境友好型和资源节约型发展模式, 是茶产业可持续发展的重要内容。微生物作为一种新型环保生物资源, 由于其在长期的进化过程所形成物种多样性和功能多样性, 加上其结构简单便于研究应用的特性, 许多有益农业微生物已被开发成微生物肥料、微生物农药、微生物保鲜剂、微生物降污剂等资源, 在茶叶无公害种植生产, 茶叶加工和茶叶副产物资源的综合利用等方面具有广泛的应用。本文就微生物资源在茶产业中肥培管理、病虫害防治、农药残留绿色防控、茶叶加工、储藏保鲜剂以及茶综合利用方面的国内外研究进展进行概述, 同时探讨微生物资源在茶产业应用中存在的问题。

关键词: 茶; 微生物资源; 茶产业; 开发与利用

Application and development of microorganism resources in tea industry

HU Gui-Ping^{1*}, LIU Bo², SHI Xu-Ping¹, CAO Hui-Hua¹, CHEN Li-Lin³, YANG Pu-Xiang¹,
GAO Qi-Zhang¹, YANG Yan¹

(1. Jiangxi Sericulture and Tea Research Institute, Nanchang 330202, China; 2. Agricultural Biological Resource Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China; 3. Institute of Applied Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT: With the development of ecological agriculture and the progress of modern biotechnology, the tea industry is undergoing developmental transition. The resource-conserving and environment-friendly development model with the goal of ecology, green and environmentalism, is an important part of sustainable development in tea industry. Microorganism with characters of species and functional diversity forming in the long-term evolution process, and simple structure for easily analysis and application, are considered as one newly environmental bioresources. Many beneficial agricultural microorganisms are developed as microbial fertilizer, microbial pesticide, microbial preservatives, microbial degrader, which was applied to pollution-free cultivation of tea, tea processing and byproduct comprehensive utilization of tea. This article described the application advance of microbe in tea fertility management, the biocontrol of pest and pathogens, pesticide residue degradation, tea processing, tea storage and preservation, the utilization of tea and its by-products, and discussed the problems existing in the application of microbe in tea industry.

基金项目: 公益性项目(No201303094)、国家星火计划重大项目(2013GA730001, 2013GA720002)、国家国际科技合作项目(2010DFB33030)

Fund: Supported by Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest(No201303094), the National Sparking Plan Project (2013GA730001, 2013GA720002), and the Program of International Science & Technology Cooperation between Fujian Agriculture and Forestry University and Tea Research Institute of Sri Lanka (2010DFB33030)

*通讯作者: 胡桂萍, 博士, 主要研究方向为茶叶副产物资源化利用。E-mail: hugp_2007@163.com

*Corresponding author: HU Gui-Ping, PhD, Jiangxi Sericulture and Tea Research Institute, Nanchang 330202, China. E-mail: hugp_2007@163.com

KEY WORDS: tea; microbial resource; tea industry; development and application

1 引言

微生物具有种类多、个体小、结构简单、繁殖力强、分布广的特点,其在生物圈具有重要地位,在作物固氮作用、叶片光合作用、作物病虫害防治、生物降污、食品加工、废物资源化利用方面发挥重要的作用。近代,科学技术尤其是生物技术的进步与农业的可持续发展促进了微生物在农业中的应用。尤其是“绿色革命”以来,国内外对茶叶的无公害和无污染的要求越来越严格,而微生物作为一种清洁的生物环保资源,在生态绿色茶产业中的应用越来越有优势,如土壤的无害化改良、病虫害的绿色防控、茶叶的质量品质提升以及茶叶等副产物的资源化利用^[1-5]。我国是种茶和产茶大国,在绿色生态有机茶产业现代进程中,对涉及茶叶生产、加工和资源化利用方面的微生物资源的开发利用显得尤其重要。近年来有关茶树微生物肥料、茶树病原微生物、生防因子、茶叶发酵微生物、茶叶保鲜微生物、茶梗茶渣发酵微生物等方面研究报道较多^[6-11]。现就微生物资源在茶园肥培管理、病虫害防治、农药残留绿色防控、茶叶加工、储藏保鲜剂茶的综合利用方面的国内外研究进展进行概述探讨和展望。

2 茶树肥培管理与微生物

随着茶园土壤重金属超标问题的出现,肥料问题开始受到人们关注。在减少茶园化肥用量,提高土壤肥力的同时,人们根据一些有益微生物如固氮菌、根瘤菌、溶磷微生物、溶钾菌、促生微生物、耐酸耐铝细菌等的特定功能,将其制成生物肥料施用于茶园,以达到增产增质的效用。在茶园中添加不具备拮抗效应的有益微生物菌剂,通过其生命活动,能增加茶树应用供给量,达到增产、增收的效果^[1]。施用光合细菌叶面肥,能增加茶树叶片数和单株发芽数^[12]。莫小燕等^[3]对主要成分为放线菌制成的“保得”牌微生物叶面肥进行茶园大田试验,结果显示:叶面肥可促进茶树芽稍生长发育,提高叶片氨基酸含量,降低苦涩味,提高产量。日本研制出以光合细菌、乳碱菌、酵母菌、放线菌为主的复合微生物制剂EM,喷施茶树叶面,可促进茶芽的生长发育,加快叶片伸展,提高百芽重^[13]。湖南省农科院植保所研制的“风行”光合细菌叶面肥,喷施茶树后,茶树新梢早发,多发,根系发达,产量提高达20%以上,同时茶树抗病性和免疫力及抗寒抗旱性增强^[6]。

3 茶树病虫害防治与微生物

利用微生物及其制剂防治茶树病虫害是茶园重要的无公害防治手段。据报道,目前已有20多种有益微生物包

括大量的细菌、真菌和病毒应用于病虫害防治。其中细菌杀虫剂如苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*)通过昆虫取食进入消化道后,产生伴孢晶体和外毒素,通过胃毒作用杀死害虫;白僵菌类的真菌杀虫剂,主要通过真菌孢子接触虫体,孢子萌发侵染虫体,分泌毒素,影响害虫血液循环,干扰害虫新陈代谢,导致害虫死亡;另外一种核型多角体病毒借助昆虫口器或者伤口感染,进入害虫体腔,侵入血细胞,脂肪和体细胞,包埋在结晶蛋白之中,形成多角体,在细胞核内增殖,最后通过感染健康细胞,导致昆虫化脓而死,多用于计生鳞翅目幼虫。而茶树病害方面的微生物杀菌剂主要是真菌类和细菌类,主要通过微生物代谢物及其分泌蛋白对病原菌的拮抗机制抑制病原菌的生长,达到防病抗病效果。近年来已报道的茶树病虫害有关的生防微生物见表1。

4 微生物与茶叶的农药残留绿色防控

利用微生物活体所分泌的酶类降解茶叶中的农药残留物,最终变成二氧化碳、水等无害物质而返回大自然的方式,是现代茶产业最健康、最安全、最绿色,保证茶叶安全质量,控制农药残留水平的生态环保型技术。目前茶园中使用的农药品种以拟除虫菊酯杀虫剂为主,少量的有机磷农药。洪永聪等^[3]从茶树内生菌中分离出降解溴氰菊酯的菌株,并鉴定为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)。南京农业大学成功利用该项技术筛选到多种茶叶农药降解菌,检测结果显示,喷洒菌剂8d后,茶园土壤残留DDT降解率达65%,植株溴氰菊酯降解率达85.8%,并获得国家发明专利。已报道的茶叶农药残留降解菌 *Sphingobium* sp JZ-1对茶叶上甲氰菊酯、氯氟氰菊酯和溴氰菊酯具有降解效果,且在农药用后24h之内使用效果最好^[9]。另外,茶园自身生态环境中也存在大量农药残留降解菌,已报道从茶园土壤中已分离到一株假单胞菌,对有机磷具有分解作用^[12];还分离出三株杀僵松和四株甲氨甲酸萘酯分解细菌^[12],吡虫啉降解菌^[52]。农药降解菌降解农药机制通过细胞内的酶系统,使农药大分子发生酶促反应,将大分子化合物酶解为多个小分子物质,从而达到消除、转化、代谢农药的目的。

5 微生物与茶叶加工

微生物在茶叶加工过程中的作用研究主要集中在红茶和黑茶加工方面。红茶属于发酵茶,黑茶属于后发酵茶,参与茶叶发酵的微生物属于酵母菌、真菌类和细菌类。梁青等^[53]研究表明,在红茶加工中,霉菌能分泌可以液化和糖化淀粉类酶系,如 α -淀粉酶、葡萄糖生产酶、麦芽糖酶、

表 1 茶树病虫害及其生防微生物
Table 1 Tea diseases and pests and its biocontrol microbes

类别	属名/种名	菌株	防治对象	文献	
细菌	芽孢杆菌属	苏云金杆菌 <i>Bacillus thuringiensis</i>	茶黑毒蛾	[14]	
			茶小绿叶蝉	[2]	
			茶毛虫	[7,15]	
			鳞翅目昆虫	[16]	
			东方茶卷叶蛾	[17,18]	
			茶细蛾	[19,20]	
			茶卷叶蛾	[19,20]	
			茶新氏囊蛾	[21]	
			茶赤叶斑病, 茶白星病, 茶煤病, 茶轮斑病, 茶褐色叶斑病	[8]	
			茶云纹叶枯病, 茶赤叶病, 茶轮纹病	[22]	
			茶枯萎病	[23]	
			茶叶褐根腐病、茶紫纹羽病	[24]	
			解淀粉芽孢杆菌	山茶灰斑病菌	[25]
			枯草芽孢杆菌	茶叶斑病菌	[3,26]
			蕈状芽孢杆菌	茶叶斑病	[24]
假单胞菌属	假单胞菌	茶枯萎病	[23]		
沙雷氏菌属	<i>Serratia marcescens</i> Bizic	乌柏癩蚘蚘、褐圆介壳虫	[27]		
白僵菌属	白僵菌	茶尺蠖	[28,20]		
真菌	球孢白僵菌	茶卷叶蛾	[29]		
		假眼小绿叶蝉	[20,30]		
		茶小绿叶蝉	[31-34]		
		茶丽纹象甲	[35]		
		木霉属	木霉	茶芽枯病, 茶轮斑病, 茶炭疽病	[36]
		子囊菌属	韦伯虫座孢菌	茶黑刺粉虱	[37,38]
		拟青霉属	拟青霉	茶黑刺粉虱	[39]
		茶尺蠖核型多角体病毒	茶尺蠖核型多角体病毒 EoNPV	茶尺蠖	[27,28,39-46]
		茶尺蠖单核壳体核型多角体病毒	茶尺蠖单核壳体核型多角体病毒 EcobSNPV	茶尺蠖	[20,47]
		茶小卷叶蛾颗粒体病毒	AdhoGV	茶小卷叶蛾	[48]
		茶小卷叶蛾核型多角体病毒	AdhoNPV	茶小卷叶蛾	[48-50]
		茶小卷叶蛾质型多角体病毒	Cytoplasmic Polyhedrosis Virus-CPV	茶小卷叶蛾	[48]
		核型多角体病毒	HytaNPV	柑橘尺蛾	[49]
		茶卷叶蛾颗粒病毒		茶卷叶蛾	[48]
		棉铃虫核型多角体病毒		茶黑毒蛾	[14]
病毒	颗粒体病毒		茶小卷叶蛾、茶长卷蛾	[50,51]	
	昆虫痘病毒		鳞翅目, 卷叶蛾科	[50,51]	

界限糊精酶,极大提高红茶中可溶性糖含量并增进香气和滋味。镜检鉴定发现黑茶渥堆中微生物群落酵母菌最多,且为假丝酵母属;霉菌以黑曲霉占优势,其次为青霉;细菌为无芽孢短小杆菌^[4,54,55]。茯砖茶中微生物优势菌类群为散囊菌属中的冠突散囊菌、黑曲霉、毛霉、拟青霉等^[10]。青霉和黑曲霉也是其他黑茶类如六堡茶和普洱茶渥堆过程中的优势微生物^[56,57]。茶叶沤堆过程中,微生物胞外酶发生酶促作用和剧烈的湿热作用及微生物自身代谢的协同作用,使茶多酚发生氧化、缩合,蛋白质和纤维素等分子发生分解,氨基酸、咖啡碱、糖类等各成分之间的聚合、缩合等一系列的复杂反应^[58],且微生物的代谢物可改变茶叶的酸度,降解一些物质如儿茶素和氟^[5],从而形成了茶特有的品质风味。

6 微生物与茶叶贮藏保鲜

茶叶贮藏过程中,霉菌是影响茶叶品质的重要因素。经常可以看到液态饮料茶保质期内由于细菌等微生物污染引起产品变质而出现混浊沉淀。一般对于茶叶的保鲜贮藏都是低温、干燥、避光等处理,但对于货架茶叶保鲜存放而言,这种方式具有很大的局限性。目前,已出现一种利用嫌气性蜡杆杆菌进行茶叶保鲜的技术,将低温处理后的菌株制成菌粉与茶叶按一定的重量比例混合均匀,限氧包装,在温度为4~5℃的恒温中放置20d后,微生物在茶叶表面形成一层生物膜,将茶叶与外界空气隔绝,达到控制茶叶氧化劣变,从而起到保质保鲜作用。

7 微生物与茶的综合利用

7.1 微生物在茶叶功能成分开发中的应用

茶叶中含有大量的氨基酸、茶多酚、茶多糖、咖啡碱等成分,这些成分具有重要的抗氧化、降血糖、降脂、抗癌等保健功能,加大茶叶中功能物质开发是目前茶产业和社会发展的需要。借助微生物发酵、微生物代谢制备茶叶中的主要功能物质,具有绿色、安全、环保、高产、低耗能的特点。如利用微生物发酵生产合成茶氨酸的微生物源的生物酶系,谷氨酰胺酶、谷氨酰胺合成酶、 γ -谷氨酰胺转氨酶^[5,59]。日本太阳化学株式会社在土壤中发现一种新的细菌香茅醇假单胞菌,此细胞中的谷氨酰胺酶在pH10条件下,能催化乙胺和谷氨酰胺反应,得到40g/L的茶氨酸^[60]。朱文娟等^[61]应用荧光假单胞菌GS基因构建了一种能生物合成茶氨酸的基因工程菌,并对GS催化合成茶氨酸体系进行诱导条件优化。贾晓鹤等^[62]构建了一个*E.coli*K-12来源的GGT重组质粒pET28a-6GT,并将其转化到*E.coli*BL21(DE3)中高效表达,该工程菌株经诱导表达,粗酶液的酶活达到1.5U/mL,大约是出发菌株的26倍,能催化L-谷氨酰胺和乙胺合成26.9g/L L-茶氨酸,L-谷氨酰胺的转化率为57.8%。

7.2 微生物在茶叶副产物中的应用

随着茶叶精深加工的不断深入,副茶粉、茶渣等茶叶副产物的数量日趋庞大。目前,关于微生物在茶叶副产物中的应用不多,主要是饲料和肥料方面的研究。刘妹等^[63]以茶渣为主要原料,添加其他辅料作为发酵基质,采用木霉、曲霉、有益微生物之间配伍、不同含水量和30℃下不同发酵时间进行固体发酵试验,发酵后料中粗蛋白含量达到26%~29%,分别比对照提高了20%~30%,其营养价值达到了仔猪配合饲料中粗蛋白的含量,可直接做饲料喂畜禽。胡民强等^[64]利用木霉发酵茶渣研制茶渣生物肥,对作物有明显的增产效果,并具有抗连作障碍作用。随着生物工程技术的发展,通过微生物的作用可以从茶渣等茶叶废弃物中提取有效成分,如木质素纤维酶、纤维素酶、木糖酶、需Mn过氧化物酶^[65],果胶酶^[11],葡萄糖^[66]等。

8 展望

通过微生物固氮作用促进茶树根部营养水分吸收,提高茶树的生长和产量;微生物分泌的代谢物系统抑制病虫害发生;微生物酶促反应降低土壤和茶叶中农药浓度;微生物发酵产生的酶类改善茶叶的品质和风味,这表明微生物在茶产业上的发展,尤其是绿色、生态、健康的发展具有积极的意义。随着健康生态产业和绿色农业的崛起,微生物资源在茶产业中开发和运用会不断深入和拓展。但有几个问题仍需进一步去探讨:(1)微生物受环境因素影响大,易受环境、对象制约,如何克服微生物肥料肥效和微生物农药防效迟缓的特点及稳定性差的问题;(2)农药降解菌存在功能单一、环境相容性差的问题,如何利用生物技术构建高效农药降解菌,提高降解效能和控制安全质量品质;(3)在茶叶加工过程中,不可避免会产生有害微生物,如何提高有益微生物在加工过程中对茶品质的积极作用,控制有害微生物产生;(4)微生物的发酵控制影响因素多,如何优化和提高茶叶副产物资源化中微生物的转化效能,为工业化生产提供技术参数指标。

参考文献

- [1] 吴淑平,吕立哲,蒋双丰,等.微生物肥在茶树上的应用效果研究[J].河南农业科学,2011,40(10):56-58.
Wu SP, Lv LZ, Jiang SF, et al. Study on applying effect of microbial fertilizer on tea plant [J]. J Henan Agric Univ, 2011, 40(10): 56-58.
- [2] 张灵玲,林晶,骆兰.叶面分离Bt及其对茶叶主要害虫高毒力菌株的筛选[J].茶叶科学,2005,25(1):56-60.
Zhang LL, Lin J, Luo Y. Occurrence of *Bacillus thuringiensis* on the phylloplane and screening of highly toxic strain to tea pests [J]. J Tea Sci, 2005, 25(1): 56-60.
- [3] 洪永聪,辛伟,来玉宾,等.茶树内生防病和农药降解菌的分离[J].茶叶科学,2005,25(3):183-188.
Hong YC, Xin W, Lai YB, et al. Isolation of endophytic antifungal and

- pesticide degrading bacteria from tea plant [J]. J Tea Sci, 2005, 25(3): 183-188.
- [4] 周红杰, 李家华, 赵龙飞, 等. 渥堆过程中主要微生物对云南普洱茶品质形成的研究[J]. 茶叶科学, 2004, 24(3): 212-218.
Zhou HJ, Li JH, Zhao LF, *et al.* Study on main microbes on quality formation of yunnan puer tea during pile-fermentation process [J]. J Tea Sci, 2004, 24(3): 212-218.
- [5] 张莹, 杜晓, 王孝仕. 茶叶红茶氨酸研究进展及利用前景[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(11): 170-174.
Zhang Y, Du X, Wang XS. Research progress of theanine in tea [J]. Food Res Devel, 2007, 28(11): 170-174.
- [6] 莫小燕. 微生物肥在茶园生产上的应用[J]. 广西热带农业, 2005, 3: 7-8.
Mo XY. Application of microbial fertilizer in tea cultivation [J]. Guangxi Trop Agric, 2005, 3: 7-8.
- [7] 傅月苗. 两种茶树害虫生物防治的效果与效益[J]. 中国茶叶, 2012, 4: 31.
Fu YM. Effect and efficiency of biological pesticides on two tea pests [J]. China Tea, 2012, 4: 31.
- [8] 胡淑霞. 茶树有益微生物对几种茶树病原菌的抑制研究[J]. 中国农学通报, 1997, 13(2): 27-29.
Hu SX. Fungistatic Effect of a beneficial microbe on the control of two tea pathogens [J]. Chin Agric Sci Bull, 1997, 13(2): 27-29.
- [9] 李小荣, 张隽, 成明根, 等. 菊酯类农药降解菌剂在茶叶上的应用效果[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10): 265-266.
Li XR, Zhang J, Cheng MG, *et al.* Application effect of pyrethroid pesticides degrading strain in tea [J]. Jiangsu Agric Univer, 2012, 40(10): 265-266.
- [10] 雷晓燕. 普洱茶中主要微生物的研究[J]. 沈阳化工学院学报, 2009, (2): 134-137.
Lei XY. Initial study of main microbes in puer tea [J]. J Shenyang Univ Chem Tech, 2009, (2): 134-137.
- [11] 毛清黎, 王星飞, 韩雅姍. 外源多糖水解酶提高红碎茶品质的生化机制研究[J]. 茶叶通讯, 2001, 22(3): 13-16.
Mao QL, Wang XF, Han YS. Biochemical mechanism of black fannings enhancing by exogenous polysaccharide hydrolase [J]. Food Sci, 2001, 22(3): 13-16.
- [12] 赵芹. 茶微生物研究现状[J]. 茶叶, 1995, 25(2): 74-75.
Zhao Q. Advance of tea microbe [J]. Tea, 1995, 25(2): 74-75.
- [13] 常硕其, 刘七成. 谈茶园微生物肥料[J]. 茶叶通讯, 2004, 1: 25-26.
Chang SQ, Liu QC. Discussing in tea microbial fertilizer [J]. Tea Comm, 2004, 1: 25-26.
- [14] 姚学坤, 杨柳霞, 赵远艳, 等. 几种生物农药对茶黑毒蛾的防治效果[J]. 茶叶通讯, 2012, 39(3): 38-41.
Yao XK, Yang LX, Zhao YY, *et al.* The Control effect of several biological pesticides on *Dasychira baibarana Matsumura* [J]. Tea Comm, 2012, 39(3): 38-41.
- [15] Zhang LL, Lin J, Luo L, *et al.* Occurrence of *Bacillus thuringiensis* on the phylloplane and screening of highly toxic strains to tea pests [J]. J Tea Sci, 2005, 25: 56-60.
- [16] Mukhopadhyay A, Damayanti D, Sangita K. Exploring the biocontrol potential of naturally occurring bacterial and viral entomopathogens of defoliating lepidopteran pests of tea plantations [J]. J Biopest, 2010, 3(1): 117-120.
- [17] Takatsuka J, Kunimi Y. Intestinal bacteria affect growth of *Bacillus thuringiensis* in larvae of the oriental tea tortrix, *Homona magnanima diakonoff* (Lepidoptera: tortricidae) [J]. J Invert Pathol, 2000, 76(3): 222-226.
- [18] Hidetaka H, Masaki H, Tomoko I, *et al.* Insecticidal activity of two 65 kda proteins from crystal proteins of *Bacillus thuringiensis* serovar kurstaki HD-I against the smaller tea tortrix, *Adoxophyes* sp. and the diamondback moth, *Plutella xylostella* [J]. Appl Entomol Zool, 1996, 31(2): 330-334.
- [19] Yukio K. Efficacy of BT (*Bacillus thuringiensis*) products against tea leafroller, *Caloptilia theivora* [J]. Ann Rep Kansai Plant Prot Soc, 2000, 42: 85-86.
- [20] Ye GY, Xiao Q, Chen M, *et al.* Tea: Biological control of insect and mite pests in China [J]. Biol Control, 2014, 68: 73-91.
- [21] Koji Y. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* formulation against the tea infesting population of *Mahasena aurea* (Butler) [J]. Ann Rep Kansai Plant Prot Soc, 2012, 54: 175-176.
- [22] 陈晶, 魏朝霞, 唐嘉义. 3种生物农药对4种茶树病害的室内抑菌试验[J]. 云南农业大学学报, 2012, 27(3): 453-456.
Chen J, Wei ZX, Tang JY. Indoor inhibition test of three biopesticides to four kinds of tea disease [J]. J Yunnan Agric Univ, 2012, 27(3): 453-456.
- [23] Vidhya Pallavi R, Nepolean P, Balamurugan A, *et al.* In vitro studies of biocontrol agents and fungicides tolerance against grey blight disease in tea [J]. Asian Pac J Trop Biomed, 2012, 2(1): S435-S438.
- [24] Anita P, Palni LMS, Coulomb N. Antifungal activity of bacteria isolated from the rhizosphere of established tea bushes [J]. Microbiol Res, 1997, 52(1): 125-130.
- [25] 张静, 朱天辉, 彭艳, 等. 解淀粉芽孢杆菌对山茶灰斑病菌的抑制作用[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(7): 122-125.
Zhang J, Zhu TH, Peng Y, *et al.* *Bacillus amyloliquefaciens* antimicrobial effect on *Pestalotiopsis guepini* (Desm.) Stey [J]. J Northeast Forestry Univ, 2014, 42(7): 122-125.
- [26] 洪永聪, 来玉宾, 叶雯娜, 等. 枯草芽孢杆菌 TL2 对茶轮斑病致病机制[J]. 茶叶科学, 2006, 26(4): 259-264.
Hong YC, Lai YB, Ye WN, *et al.* Mechanism of control of tea grey blight disease by *Bacillus subtilis* strain TL2 [J]. J Tea Sci, 2006, 26(4): 259-264.
- [27] Wang XC, Zhang JM, Lu J, *et al.* Sequence analysis and genomic organization of a new insect picorna-like virus, *Ectropis obliqua* picorna-like virus, isolated from *Ectropis oblique* [J]. J Gen Virol, 2004, 85: 1145-1151.
- [28] 高宇. 茶尺蠖天敌生态学研究进展[J]. 北方园艺, 2014, 9: 203-206.
Gao Y. Research progress on ecology of natural enemies of tea geometrid [J]. Northern Hort, 2014, 9: 203-206.
- [29] 石春华, 虞秩俊, 主编. 茶叶无公害生产技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
Shi CH, Wu ZJ, eds. Pollution free processing in tea production [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [30] 蔡国贵. 假眼小绿叶蝉白僵菌优良菌株筛选及其应用研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(4): 567-571.
Cai GG. Screening of the superior strains of *Beauveria bassiana* of *Empoasca vitis* and its practical application [J]. Acta Agric Univ Jiangxiensis, 2005, 27(4): 567-571.

- [31] 展茂魁, 何玲敏, 陈名, 等. 防治假眼小绿叶蝉的虫生真菌高毒菌株的筛选及田间防治效果[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(1): 41-46.
Zhan MK, He LM, Chen M, *et al.* Screening for a highly virulent entomogenous fungal strain to *Empoasca vitis* (Homoptera: Cicadellidae) and its field efficacy [J]. Chin J Biol Control, 2012, 28(1): 41-46.
- [32] 彭超美, 孙光远, 刘元明, 等. 球孢白僵菌对茶小绿叶蝉杀虫效果和应用技术[J]. 农药科学与管理, 2012, 33(10): 60-62.
Peng CM, Sun MY, Liu YM, *et al.* The control effect of *Beauveria bassiana* to *Empoasca flavescens* and its application technology [J]. Pesti Sci Admin, 2012, 33(10): 60-62.
- [33] 李华祥, 杨海泉, 刘龙, 等. 白僵菌对茶小绿叶蝉田间防效的关键影响因素研究[J]. 工业微生物, 2014, 44(1): 1-5.
Liu HX, Yang HQ, Liu L, *et al.* Key Factors Influencing control effect of *Beauveria bassiana* against *Empoasca* spp. In Tea Plant [J]. Industrial Microb, 2014, 44(1): 1-5.
- [34] Pu XY, Feng MG, Shi CH. Impact of three application methods on the field efficacy of a *Beauveria Bassiana* based mycoinsecticide against the false-eyes leafhopper, *Empoasca vitis* (Homoptera: Cicadellidae) in the canopy [J]. Crop Prot, 2005, 24(2): 167-175.
- [35] Wu GY, Sun JD, Lin AX, *et al.* The occurrence of tea weevil and its integrated control [J]. Entomol J East China, 1996, 5: 25-29.
- [36] 苏林娟, 陈丹, 杨民和. 一株茶树内生放线菌的分离鉴定及抗菌活性测定[J]. 福建师范大学学报, 2012, 28(3): 94-100.
Su LJ, Chen D, Yang MH. An endophytic actinomycetes from Leaf of *Camellia sinensis* and determination of its antimicrobial activity [J]. J Fujian Normal Univ, 2012, 28(3): 94-100.
- [37] Han BY. Attractive activity to natural enemies and component analysis of the rinses from tea aphid body surface [J]. Acta Entomol Sin, 2001, 44: 541-547.
- [38] Chen XF, Jin JZ, Wu GY, *et al.* *Aegerita webberi* Fawcett and its application in the control of the black spiny whitefly, *Aleurcanthus spiniferus* [J]. China Tea, 1994, 16 (2): 4-5.
- [39] Tang MJ, Yin KS, Chen XF. Studies on the cultural characteristics and host range of the entomogenous fungus *Paecilomyces aleurocanthus* [J]. J Tea Sci, 2003, 23 (S): 46-52.
- [40] 杜军利, 张传溪, 肖强, 等. 茶尺蠖核型多角体病毒荧光定量 PCR 检测方法的建立[J]. 茶叶科学, 2010, 30(3): 203-207.
Du JL, Zhang CX, Xiao Q, *et al.* Development of the fluorescent quantitative PCR for detection of EoNPV in *Ectropis Obliqua* [J]. J Tea Sci, 2010, 30(3): 203-207.
- [41] 殷坤山, 肖强, 唐美君, 等. 温度、光、pH 值对茶尺蠖病毒活性的影响[J]. 茶叶, 2004, 30(2): 85-87.
Yin KS, Xiao Q, Tang MJ, *et al.* Effect of Temperture, Light and pH on activity of nuclear polyhedrosis virus of *ectropis obliqua* (EoNPV) [J]. J Tea, 2004, 30(2): 85-87.
- [42] 徐建, 肖强, 刘琴. 茶尺蠖病毒 Bt 生物农药尺蠖清的研制与应用[J]. 江苏农业科学, 2005, (6): 56-58.
Xu J, Xiao Q, Liu Q. Development and Application of biopesticide of *Bacillus thuringiensis* and virus against tea looper, *Hyposidra infixaria* Walk.[J]. Jiangsu Agric Univ, 2005, (6): 56-58.
- [43] 刘琴, 徐建, 殷向东, 等. 生物农药尺蠖清悬浮剂防治茶树茶尺蠖的效果[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(10): 1867, 1918.
Liu Q, Xu J, Yin XD, *et al.* Efficacy of biological pesticide of *Ectropis obliqua* against tea looper, *Hyposidra infixaria* Walk.[J]. Anhui Agric Univ, 2005, 33(10): 1867, 1918.
- [44] 石立, 胡本进, 李昌春, 等. 尺蠖清悬浮剂防治茶树茶尺蠖试验[J]. 现代农业科技, 2006, 8: 58-59.
Shi L, Hu BJ, Li CC, *et al.* Control effect of *Ectropis obliqua* by Chihouqing [J]. Modern Agric Sci Tech, 2006, 8: 58-59.
- [45] Nair N, Tudu B, Debnath MR, *et al.* Efficacy of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* and NPV against tea looper, *Hyposidra infixaria* Walk. (Lepidoptera: Geometridae)[J]. J Entomol Res, 2011, 35(1): 15-18.
- [46] Mukhopadhyay A De D. A new strain of entomophthogenic bacillus of the tea pest, *Eterusia magnifica* (Butl.) (Zygoniidae: Lepidoptera) from Darjeeling Foothill Region of India [J]. J Agric Sci Technol, 2011, 15(3): 359-365.
- [47] Ma XC, Xu HJ, Tang MJ, *et al.* Morphological, phylogenetic and biological characteristics of *Ectropis obliqua* single-nucleocapsid nucleopolyhedrovirus [J]. J Microbiol, 2006, 44(1): 77-82.
- [48] Takahashi M, Nakai M, Nakanishi K, *et al.* Genetic and biological compansions of four nucleopolyhedrovirus isolates that are infectious to *Adoxophyes honmai* (Lepidoptera: Tortricidae)[J]. Bio Control, 2008, 46(3): 542-546.
- [49] Sinu PA, Binu A, Sadhan M. The occurrence of nucleopolyhedrovirus infecting *Hyposidra talaca* (Geometridae: Lepidoptera), a tea defoliator from North-East India[J]. Biocontrol Sci Technol, 2011, 21: 7-8.
- [50] Madoka N. Biological control of Tortricidae in tea fields in Japan using insect viruses and parasitoids [J]. Virol Sinica, 2009, 24(4): 323-332.
- [51] Hazarika LK, Bhuyan M, Hazarika BN. Insect pests of tea and their management [J]. Ann Rev Entomol, 2009, 54: 267-284.
- [52] Hu GP, Zhao Y, Liu B, *et al.* Isolation of an indigenous imidacloprid-1 degrading bacterium and imidacloprid bioremediation under simulated in situ and ex situ conditions [J]. J Microb Biotech, 2013, 23(11): 1617-1626.
- [53] 梁青, 王文哲, 丁立孝. 日照红茶初制过程中主要微生物消长趋势的研究[J]. 中外食品, 2014, 6: 55-58.
Liang Q, Wang WZ, Ding LX. Dynamic microbial changes of rezhao black tea during processing [J]. Glob Food Ind Infor, 2014, 6: 55-58.
- [54] 方祥, 陈栋, 李晶晶, 等. 普洱茶不同贮藏时期微生物种群的鉴定[J]. 现代食品科技, 2008, (2): 105-108.
Fang X, Chen Dong, Li JJ, *et al.* Identification of microbial species in pu-erh tea with different storage time [J]. Mod Food Sci Technol, 2008, (2): 105-108.
- [55] 朱宏涛, 杨崇仁, 李元, 等. 普洱茶后发酵过程中微生物的研究进展[J]. 云南植物研究, 2008, 30(6): 718-724.
Zhu HT, Yang CR, Li Y, *et al.* Advances on the research of microbes during the post-fermentative process of Pu-er tea [J]. Acta Botanica Yunnanica, 2008, 30(6): 718-724.
- [56] 胡治远, 刘素纯, 赵运林, 等. 茯砖茶生产过程中微生物动态变化及优势菌鉴定[J]. 食品科学, 2012, 33(19): 244-248.
Hu ZY, Liu SC, Zhao YL, *et al.* Dynamic microbial changes of fuzhuan brick tea during processing and identification of dominant fungi [J]. Food Sci, 2012, 33(19): 244-248.
- [57] 周杨艳, 李雨枫, 白雪, 等. 茯砖茶中优势微生物在不同培养基的差异性比较[J]. 中国酿造, 2014, 33(3): 75-80.
Zhou YY, Li YF, Bai X, *et al.* Different comparison of dominant

- microorganisms from fuzhuan brick tea in different media [J]. China Brew, 2014, 33(3): 75-80.
- [58] 胡治远, 赵运林, 刘石泉, 等. 茯砖茶冠突散囊菌多样性初步研究[J]. 茶叶, 2012, 38(2): 82-88.
- Hu ZY, Zhao YL, Liu SQ, *et al.* A study on diversity of the eurotium cristatum in Fuzhuan brick tea [J]. J Tea, 2012, 38(2): 82-88.
- [59] 龚雨顺, 李勤, 黄建安. 茶氨酸制备方法研究进展[J]. 湖南农业大学学报, 2008, 32(2): 232-235.
- Xi YS, Li Q, Huang JA. Review on preparation methods of theanine [J]. J Hunan Agric Univ, 2008, 32(2): 232-235.
- [60] 立木隆, 冈田幸隆, 小关诚, 等. 茶氨酸的制造方法[P]. CN2005-10-26 . Li ML, Gang TXL, Xiao GC, *et al.* Manufacturing methods of Theanine [P]. CN2005-10-26.
- [61] 朱文娟, 黎星辉, 王丽鸳, 等. 利用 GS 基因构建茶氨酸生物合成工程菌的研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(4): 242-48 . Zhu WX, Li XH, Wang LY, *et al.* Construction of *E.coli* recombinant engineered strain for theanine biosynthesis with gs gene embedded [J]. J Tea Sci, 2008, 28(4): 242-48 .
- [62] 贾晓鹤, 陈莉, 赵宁伟, 等. 生物转化法应用重组谷氨酰转肽酶合成 L-茶氨酸[J]. 食品工业科技, 2008, 29(2): 166-169 . Jia XH, Chen L, Zhao NW, *et al.* Production of L-theanine by bioconversion with recombinant r-Glutamyltranspeptidase [J]. Sci Tech Food Ind, 2008, 29(2): 166-169
- [63] 刘妹, 涂国权. 茶渣经微生物固体发酵成饲料的初步研究[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(1): 130-133.
- Liu Z, Tu GQ. A Preliminary study on the microbial feed by solid fermentation of tea residue [J]. Acta Agric Univ Jiangxiensis, 2001, 23(1): 130-133.
- [64] 胡民强, 王岳飞, 徐侠钟. 茶渣生物洁净有机肥肥效试验研究[J]. 茶叶, 2006, 32(3): 145-147.
- Hu MQ, Wang YF, Xu XZ. Fertilizer efficiency of organic fertilizer made by tea leaf [J]. Tea, 2006, 32(3): 145-147.
- [65] 胡欢, 杨述章, 李仲芳, 等. 30 种茶花过氧化物酶同工酶分析[J]. 四川师范大学学报, 2013, 36(2): 296-301.
- Hu H, Yang SZ, Li ZF, *et al.* Analysis on peroxidase isoenzyme in 30 varieties of Camellia [J]. J Sichuan Normal Univ, 2013, 36(2): 296-301.
- [66] 唐小林. 我国茶叶加工发展趋势[J]. 中国茶叶加工, 2014, 2: 1-4.
- Tang XL. Development trend of tea processing in China [J]. China Tea Proc, 2014, 2: 1-4.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



胡桂萍, 博士, 主要研究方向为茶微生物生物技术和茶叶农药残留微生物修复。
E-mail: Huguip_2007@163.com