

广州市售水产品副溶血弧菌和溶藻弧菌的耐药性评估

冼钰茵^{1,2}, 余翀³, 阮荣勇³, 易敏英^{1,2}, 吴希阳³, 凌莉^{1,2*} (1. 广东检验检疫技术中心, 广东广州 510000; 2. 广东省动植物与食品进出口技术措施研究重点实验室, 广东广州 510000; 3. 暨南大学理工学院, 广东广州 510000)

摘要 [目的]研究广州市售水产品中副溶血弧菌和溶藻弧菌的耐药性情况。[方法]采用 Kirby-Bauer 纸片扩散法检测从水产品中分离的 87 株副溶血弧菌和 118 株溶藻弧菌对水产养殖业中常用的 18 种抗生素的耐药情况。[结果]水产品中的副溶血弧菌和溶藻弧菌均对万古霉素、克林霉素以及青霉素类抗生素有明显抗性, 多重耐药比例达 100%, 溶藻弧菌的多重耐药现象较为突出。[结论]广州市售水产品中的副溶血弧菌和溶藻弧菌具有多种抗生素抗性, 且多重耐药情况突出。

关键词 副溶血弧菌; 溶藻弧菌; 耐药性; 多重耐药

中图分类号 S948 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)28-0074-04

Drug Resistance of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio alginolyticus* in Aquatic Products from Guangzhou Retail Markets

XIAN Yu-yin^{1,2}, YU Chong³, RUAN Rong-yong³, LING Li^{1,2*} et al (1. Guangdong Inspection and Quarantine Technology Center, Guangzhou, Guangdong 510000; 2. Guangdong Key Laboratory of Import and Export Technical Measures of Animal, Plant and Food, Guangzhou, Guangdong 510000; 3. College of Science and Technology, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510000)

Abstract [Objective] To investigate the drug resistance of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio alginolyticus* in aquatic products from Guangzhou retail markets. [Method] Kirby-Bauer disk diffusion method was used to detect the antibiotic resistance of 87 isolates of *V. parahaemolyticus* and 118 isolates of *V. alginolyticus* in aquatic products to 18 kinds of antibiotics widely used in aquaculture industry. [Result] Both *V. parahaemolyticus* and *V. alginolyticus* were resistant to vancomycin, clindamycin and penicillins. All the isolates exhibited multi-drug resistance, while *V. alginolyticus* isolates showed outstanding multiple antibiotic resistance. [Conclusion] *V. parahaemolyticus* and *V. alginolyticus* in aquatic products from Guangzhou retail markets were resistant to many kinds of antibiotics, they also exhibited complex multi-drug resistance.

Key words *Vibrio parahaemolyticus*; *Vibrio alginolyticus*; Drug resistance; Multi-drug resistance

副溶血弧菌是一种革兰氏阴性嗜盐细菌, 主要分布于海水、海底沉积物以及鱼、虾、贝类等海产品中, 不仅是水产养殖业的重要病原菌, 而且是人类主要的食源性致病菌之一^[1-3]。我国是副溶血弧菌引发食物中毒的高发地区, 由该病原菌感染引发的急性肠胃炎占细菌性食物中毒的首位, 在某些沿海城市比例高达 60% 以上^[4-5]。溶藻弧菌虽然是水生环境中的优势菌种, 同样会引起水生动物感染, 但其对人类的致病性不如副溶血弧菌强, 属于条件致病菌。鉴于溶藻弧菌的致病性弱于霍乱弧菌、创伤弧菌和副溶血弧菌等典型弧菌病原菌, 临床症状相对较轻, 一般不会导致死亡, 且目前尚未出现溶藻弧菌大规模暴发的疫情, 因此对其致病性和耐药性的研究也相对薄弱^[6-8]。

目前, 水产养殖业中抗生素的过度使用问题日益严重。用药种类广、剂量大、频次高等问题不仅会造成不良的生态学效应, 药物残留及药物的选择压力致使病原菌对抗生素的敏感性下降甚至消失, 而且增加了防治水产病害的难度, 其耐药性甚至可能发生转移, 对人体健康构成进一步的威胁^[9-12]。笔者针对从广州市售水产品中分离的 87 株副溶血弧菌和 118 株溶藻弧菌, 选取水产养殖业中常用的 18 种抗生素进行药敏试验, 旨在研究广州市售水产品分离的副溶血弧菌和溶藻弧菌的耐药性情况, 以为水产养殖过程中抗生素的合理规范应用提供指导, 为弧菌耐药基因的定位和耐药

机制的研究以及水产品的安全性评估提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 试验菌株 药敏性测定标准质控菌株大肠杆菌 ATCC 25922, 由广东省出入境检验检疫局检验检疫技术中心食品实验室微生物部提供。87 株副溶血弧菌和 118 株溶藻弧菌来自广州地区多个肉菜市场售卖的水产品, 品类涵盖花螺、花甲、青口、沙甲、白贝、大头蛤、沙蛤、鲍鱼、扇贝、海瓜子、蛏子和贵妃蚌。

1.2 培养基及药敏纸片 用于培养弧菌的特异性培养基 TCBS 和用于药敏性试验的培养基 MHA 均购自北京陆桥技术股份有限公司; 用于弧菌液体培养的 3% NaCl 碱性蛋白胨水购自青岛海博生物技术有限公司。药敏纸片的选择按照美国临床实验室标准化研究所 (Clinical and laboratory standards institute, CLSI) 推荐的肠杆菌药敏试验抗生素选择原则, 结合我国水产养殖业抗生素使用特点, 选择使用的 18 种抗生素及其剂量见表 1。18 种抗生素的 Oxoid 药敏纸片, 购自华粤瑞科科学器材有限公司。

1.3 药敏试验 在 TCBS 培养基上活化副溶血弧菌和溶藻弧菌后, 挑取单菌落接种于 3% NaCl 的 TSB 培养基中 37 °C 过夜培养后, 用生理盐水稀释菌液至浓度为 0.5 麦氏浊度, 以无菌棉拭子蘸取稀释后的菌液, 均匀涂布于 4 mm 厚的 MHA 平板上, 操作过程严格按照美国临床实验室标准化委员会 (Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI) 推荐的 Kirby-Bauer 纸片扩散法^[13]进行。37 °C 下倒置培养 16 ~ 18 h 后, 测量抑菌圈直径, 再根据 CLSI 标准判定为耐药 (resistant)、中介 (intermediate) 以及敏感 (sensitive)。

2 结果与分析

2.1 副溶血弧菌分离株的药敏试验结果 由表 2 可知, 水

基金项目 广东省自然科学基金项目 (S2012030006235); 广东省省级科技计划项目 (2016A050503031)。

作者简介 冼钰茵 (1990—), 女, 广东佛山人, 助理工程师, 硕士, 从事食品安全研究。* 通讯作者, 高级工程师, 硕士, 从事食品安全研究。

收稿日期 2017-08-30

表 1 18 种抗生素的种类、名称和剂量

Table 1 Types, names and dose of 18 kinds of antibiotics

类别 Types	抗生素名称 Name of antibiotics	简称 Abbreviation	剂量 Dose μg/片
青霉素类 Penicilins	氨苄西林	AMP	10
	阿莫西林	AML	10
	羧苄西林	CAR	100
头孢类 Cephalosporins	头孢噻吩	KF	30
	头孢哌酮	CFP	75
	头孢呋辛钠	CXM	30
	头孢唑啉	KZ	30
	庆大霉素	CN	10
氨基糖苷类 Aminoglycoside	链霉素	S	10
	阿米卡星	AK	30
糖肽类 Glycopeptides	万古霉素	VA	30
脂肽类 Lipopeptides	多黏霉素	PB	30
四环素类 Tetracyclines	四环素	TE	30
磺胺类 Sulphonamides	复方新诺明	SXT	25
大环内酯类 Macrolides	红霉素	E	15
喹诺酮类 Quinolones	环丙沙星	CIP	5
安沙霉素类 Ansamycins	利福平	RD	5
林可霉素类 Lincosamides	克林霉素	DA	2

表 2 87 株副溶血弧菌的药敏试验结果

Table 2 Drug sensitive test results of 87 strains of *V. parahaemolyticus*

序号 No.	抗生素 Antibiotics	简称 Abbre- viation	耐药 Tolerant	中介 Interme- diate	敏感 Suscep- tible	耐药率 Drug tolerant rate//%
1	阿莫西林	AML	77	1	9	88.51
2	头孢哌酮	CFP	1	2	84	1.15
3	环丙沙星	CIP	0	3	84	0
4	阿米卡星	AK	5	22	60	5.75
5	氨苄西林	AMP	67	8	12	77.01
6	头孢唑啉	KZ	46	30	11	52.87
7	链霉素	S	74	12	1	85.06
8	红霉素	E	0	55	32	0
9	头孢呋辛钠	CXM	4	37	46	4.60
10	万古霉素	VA	87	0	0	100
11	庆大霉素	CN	0	0	87	0
12	利福平	RD	1	22	64	1.15
13	头孢噻吩	KF	5	23	59	5.75
14	多黏霉素	PB	17	24	46	19.54
15	四环素	TE	0	0	87	0
16	克林霉素	DA	83	4	0	95.40
17	羧苄西林	CAR	39	24	24	44.83
18	复方新诺明	SXT	0	0	87	0

产品中的副溶血弧菌对抗生素的耐药现象相当普遍,87 株副溶血弧菌都呈现出不同程度的抗生素抗性,其中最突出的是万古霉素,耐药率高达 100%,其次是耐药率达到 95.40% 的克林霉素。此外,副溶血弧菌分离株对链霉素和青霉素类抗生素(如阿莫西林、氨苄西林)有明显抗性,耐药率均超过 75%。通过比较副溶血弧菌分离株对不同抗生素的敏感程度可知,水产品中的副溶血弧菌对庆大霉素、四环素、复方新诺明、头孢哌酮和环丙沙星较为敏感。

2.2 溶藻弧菌分离株的药敏试验结果 由表 3 可知,水产

品中的溶藻弧菌对抗生素的耐药现象更为普遍,118 株溶藻弧菌分离株均对万古霉素和克林霉素有抗性,对阿莫西林、氨苄西林、羧苄西林等青霉素类抗生素的耐药率均在 90% 以上。此外,还对链霉素和头孢类抗生素(如头孢唑啉、头孢呋辛钠和头孢噻吩)有明显抗性,但对同属于头孢类抗生素的头孢哌酮则非常敏感。通过比较溶藻弧菌分离菌株对不同抗生素的敏感程度可知,水产品中的溶藻弧菌对头孢哌酮、环丙沙星、庆大霉素、四环素和复方新诺明较为敏感,与副溶血弧菌分离株基本一致。

表 3 118 株溶藻弧菌的药敏试验结果

Table 3 Drug sensitive test results of 118 strains of *V. alginolyticus*

序号 No.	抗生素 Antibiotics	简称 Abbre- viation	耐药 Tolerant	中介 Interme- diate	敏感 Suscep- tible	耐药率 Drug tolerant rate//%
1	阿莫西林	AML	113	1	4	95.76
2	头孢哌酮	CFP	5	15	98	4.24
3	环丙沙星	CIP	3	10	105	2.54
4	阿米卡星	AK	31	61	26	26.27
5	氨苄西林	AMP	112	0	6	94.92
6	头孢唑啉	KZ	109	4	5	92.37
7	链霉素	S	107	8	3	90.68
8	红霉素	E	1	87	30	0.85
9	头孢呋辛钠	CXM	92	18	8	77.97
10	万古霉素	VA	118	0	0	100
11	庆大霉素	CN	3	19	96	2.54
12	利福平	RD	31	51	36	26.27
13	头孢噻吩	KF	100	11	7	84.75
14	多黏霉素	PB	29	35	54	24.58
15	四环素	TE	0	3	115	0
16	克林霉素	DA	118	0	0	100
17	羧苄西林	CAR	109	1	8	92.37
18	复方新诺明	SXT	7	2	109	5.93

2.3 副溶血弧菌分离株的多重耐药情况及相关耐药谱分析 87 株副溶血弧菌分离株均存在多重耐药情况,有 4 株副溶血弧菌对多达 9 种抗生素具有抗性,多重耐药菌株的比例见图 1。其中 60% 以上的菌株同时对 6 种及以上的抗生素具有抗性,这 55 个菌株的多重耐药谱见表 4。

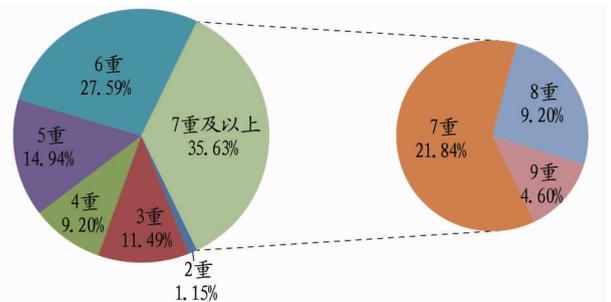


图 1 副溶血弧菌多重耐药菌株比例

Fig. 1 Proportion of multi-drug resistance of *V. parahaemolyticus*

2.4 溶藻弧菌分离株的多重耐药情况及相关耐药谱分析 118 株溶藻弧菌分离株均存在多重耐药情况,且多重耐药情况比副溶血弧菌更为严重,有 5 株溶藻弧菌对多达 12 种抗生素具有抗性,溶藻弧菌分离株的多重耐药菌株的比例

见图2。其中,75%以上的菌株同时对9种及以上的抗生素具有抗性,这90个菌株的多重耐药谱见表5。

表4 55株副溶血弧菌分离株的多重耐药谱

Table 4 Multi-drug resistance spectrum of 55 isolates of *V. parahaemolyticus*

菌株数 Number of strains	耐抗生素数量 Number of antibiotics-tolerant strains	耐药谱 Drug resistance spectrum
24	6	AML-AMP-KZ-S-VA-DA/AML-AMP-S-VA-DA-CAR AML-KZ-S-VA-DA-CAR/AML-AMP-VA-PB-DA-CAR AML-AMP-KZ-VA-PB-DA/AML-AK-AMP-S-VA-DA AML-AMP-KZ-CXM-VA-RD/AMP-S-VA-PB-DA-CAR
19	7	AML-AMP-KZ-S-VA-DA-CAR/AML-AMP-KZ-S-VA-PB-DA AML-AMP-S-CXM-VA-DA-CAR/AML-AK-AMP-KZ-S-VA-DA AML-AMP-S-VA-PB-DA-CAR/AML-AMP-KZ-S-VA-KF-DA
8	8	AML-AMP-KZ-S-VA-PB-DA-CAR/AML-AK-AMP-KZ-S-VA-DA-CAR AML-CFP-AMP-KZ-S-VA-DA-CAR/AML-AMP-KZ-S-VA-KF-DA-CAR
4	9	AML-AMP-KZ-S-VA-KF-PB-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-PB-DA-CAR

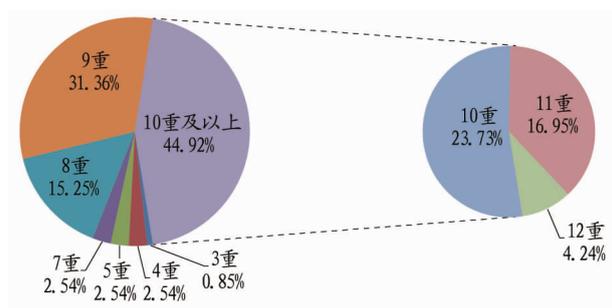


图2 溶藻弧菌多重耐药菌株比例

Fig. 2 Proportion of multi-drug resistance of *V. alginolyticus*

3 结论与讨论

笔者选取水产养殖业中常用的18种抗生素,采用Kirby-Bauer纸片扩散法研究从广州市售水产品分离的87株副溶血弧菌和118株溶藻弧菌的耐药性情况,发现这2种弧菌对抗生素的耐药现象相当普遍,所有菌株都呈现出不同程度的抗生素抗性,而且多重耐药情况十分突出,达到100%,溶藻弧菌的多重耐药情况尤为严重。通过分析这些弧菌分离株的耐药情况,整理出典型菌株的多重耐药谱,可为水产养殖过程中抗生素的合理规范使用提供有效指导,有利于水产养殖业的可持续健康发展。此外,通过试验获得的耐药性研究结果对于掌握水产品中的副溶血弧菌和溶藻弧菌的耐药现状及风险评估具有重要的现实意义,并为副溶血弧菌和溶藻弧菌耐药基因定位和耐药机制的研究提供参考资料。

表5 90株溶藻弧菌分离株的多重耐药谱

Table 5 Multi-drug resistance spectrum of 90 isolates of *V. alginolyticus*

菌株数 Number of strains	耐抗生素数量 Number of antibiotics-tolerant strains	耐药谱 Drug resistance spectrum
37	9	AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-VA-KF-PB-DA-CAR AML-AMP-KZ-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR AML-AMP-S-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-PB-DA AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-PB-DA-CAR
28	10	AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-PB-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-DA-CAR-SXT AML-AK-AMP-KZ-S-VA-KF-PB-DA-CAR AML-CFP-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-DA-CAR AML-AMP-KZ-CXM-VA-RD-KF-PB-DA-CAR AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR
20	11	AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-PB-DA-CAR AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-PB-DA-CAR AML-CFP-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR AML-CFP-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR AML-AMP-KZ-S-CXM-VA-CN-KF-DA-CAR AML-AK-AMP-KZ-S-VA-CN-KF-PB-DA-CAR AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-CN-KF-DA-CAR AML-CIP-AMP-KZ-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR-SXT AML-CFP-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-PB-DA-CAR AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-PB-DA-CAR AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-PB-DA-CAR
5	12	AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-PB-DA-CAR AML-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR-SXT AML-CIP-AK-AMP-KZ-S-CXM-VA-KF-DA-CAR-SXT AML-CIP-AMP-KZ-S-CXM-VA-RD-KF-DA-CAR-SXT

Kirby-Bauer纸片扩散法是一种定性测定细菌耐药性的方法,由于其具有操作简单,价格便宜,不需要专门的仪器设备,而且形成了标准化、规范化的操作流程等优势,目前已广泛应用于各种细菌耐药性的研究。但是,应注意此方法的试验结果受细菌接种量、药敏纸片质量、培养基的成分与厚度、具体试验操作等因素的影响,只有严格按照CLSI的标准执行才能有效减少这些因素对试验结果的影响,避免假性耐药和假性敏感情况的出现。

该研究发现,副溶血弧菌和溶藻弧菌分离株具有多重耐药性。与国内外同类数据对比,笔者调查的广州地区副溶血弧菌和溶藻弧菌的多重耐药情况更为突出和集中^[14-16]。副溶血弧菌和溶藻弧菌作为水产养殖业中的主要病原菌,在水产养殖过程中投放的抗生素其抗菌谱大多数会覆盖这2种

弧菌,从而促使这 2 种弧菌在反复接触这些抗生素后逐步形成抵御抗生素作用的能力,产生对多种抗生素不同程度的抗性,形成了这种多药耐受局面^[10,12]。此外,细菌间耐药质粒的水平迁移也有可能加剧水产品中副溶血弧菌和溶藻弧菌的多重耐药情况。耐药质粒可以通过接合、转导等途径在弧菌之间传播,使敏感菌株获得耐药基因,从而产生抗生素抗性,实现弧菌耐药性的传播^[17]。

参考文献

[1] 李国,闫茂仓,常维山,等.我国海水养殖贝类弧菌病研究进展[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2008,27(3):327-334.

[2] SU Y C, LIU C C. *Vibrio parahaemolyticus*: A concern of seafood safety [J]. Food microbiology, 2007, 24(6): 549-558.

[3] LOPATEK M, WIECZOREK K, OSEK J. *Vibrio parahaemolyticus*: Potential threat to consumer health [J]. Medycyna weterynaryjna, 2011, 67(12): 808-813.

[4] WU Y N, WEN J, MA Y, et al. Epidemiology of foodborne disease outbreaks caused by *Vibrio parahaemolyticus*, China, 2003-2008 [J]. Food control, 2014, 46: 197-202.

[5] 徐君飞,张居作.2001-2010年中国食源性疾病暴发情况分析[J].中国农学通报,2012,28(27):313-316.

[6] LIU C H, CHEN J C. Effect of ammonia on the immune response of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio alginolyticus* [J]. Fish & shellfish immunology, 2004, 16(3): 321-334.

[7] SCHMIDT U, CHMEL H, COBBS C. *Vibrio alginolyticus* infections in hu-

mans [J]. Journal of clinical microbiology, 1979, 10(5): 666-668.

[8] LI X C, XIANG Z Y, XU X M, et al. Endophthalmitis caused by *Vibrio alginolyticus* [J]. Journal of clinical microbiology, 2009, 47(10): 3379-3381.

[9] SALISBURY J G, NICHOLLS T J, LAMMERDING A M, et al. A risk analysis framework for the long-term management of antibiotic resistance in food-producing animals [J]. International journal of antimicrobial agents, 2002, 20(3): 153-164.

[10] 郭国强.水产养殖病害防治中的抗药性及其对策[J].中国水产,2005(5):52-55.

[11] 陈杖榴,刘健华.食品动物源细菌耐药性与公共卫生[J].中兽医医药杂志,2008(1):23-24.

[12] 李国烈,李林桂,房文红.水产动物源细菌耐药性与预防控制[J].渔业信息与战略,2012,27(4):316-320.

[13] Clinical and Laboratory Standards Institute. M100-S20 Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: Nineteenth informational supplement [S]. Wayne, PA: CLSI, 2010.

[14] OH E G, SON K T, YU H, et al. Antimicrobial resistance of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio alginolyticus* strains isolated from farmed fish in Korea from 2005 through 2007 [J]. Journal of food protection, 2011, 74(3): 380-386.

[15] 胡珑玉,李喜斌,贾玲华.海水中溶藻弧菌的分离、鉴定及其耐药性分析[J].食品工业科技,2013,34(16):195-199.

[16] 吴蓓蓓,俞盈,金培婕,等.宁波地区海产品及环境中副溶血弧菌主要毒力及耐药性分析[J].中国人兽共患病学报,2011,27(5):381-385.

[17] 王瑞旋,耿玉静,王江勇,等.水产致病菌耐药基因的研究[J].海洋环境科学,2012,31(3):323-328.

(上接第41页)

[7] 罗红兵,黄璜.中国特用玉米研究概述[J].湖南农业科学,2001(6):24-26.

[8] 王桂跃,赵福成,谭禾平,等.浙江省鲜食玉米产业现状及主要种植模式[J].浙江农业科学,2015,56(10):1553-1556.

[9] HU Q P, XU J G. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics and antioxidant activity of selected color waxy corn gains during maturation [J]. Journal of agriculture and food chemistry, 2011, 59(5): 2026-2033.

[10] HARAKOTR B, SURIHARN B, TANGWONGCHAI R, et al. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking [J]. Food chemistry, 2014, 164(3): 510-517.

[11] PARK K J, SA K J, KOH H J, et al. QTL analysis for eating quality - related traits in an $F_{2,3}$ population derived from waxy corn \times sweet corn cross [J]. Breeding science, 2013, 63(3): 325-332.

[12] 何世界,陈斌,李慧龙.浅谈鲜食玉米的产业化发展[J].种子科技,2007,25(1):29-30.

[13] 中国国家统计局.中国统计年鉴2015[M].北京:中国国家统计局出版社,2015.

[14] LV Z W, HU X M. Production of biotechnology fulvic acid from fermented corn straw by microbial community LCM9 and its application effect [J]. Agricultural science & technology, 2010, 11(9/10): 14-16.

[15] 李洋艳,唐海涛,张彪,等.我国鲜食甜糯玉米产业现状及前景分析[J].农业与技术,2014,34(4):219-221.

[16] SONG J F, LIU C Q, LI D J, et al. Effect of cooking methods on total phenolic and carotenoid amounts and DPPH radical scavenging activity of fresh and frozen sweet corn (*Zea mays*) kernels [J]. Czech journal of food science, 2013, 31(6): 607-612.

[17] 史振声,李凤海,王志斌,等.我国鲜食型玉米科研与产业开发的现状和问题[J].玉米科学,2002,10(S1):93-96.

[18] 王小强,李占林,武建凯,等.我国特用玉米生产利用现状及发展趋势[J].园艺与种苗,2012(10):58-61.

[19] SCHAFFER J, WAGNER S, TRIERWEILER B, et al. Characterization of cell wall components and their modifications during postharvest storage of *Asparagus officinalis* L. Storage-related changes in dietary fiber composition [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2016, 64(2): 478-486.

[20] 王宁强,胡强,王军利,等.高油玉米的利用价值研究现状及发展对策[J].中国农学通报,2004,20(5):137-138,169.

[21] 孙玲,侯长国,姜岩.大力发展高油玉米 促进农业产业化[J].作物杂

志,2001(2):4-6.

[22] 李本逊,吴渝生.关于我国发展适于深加工优质专用玉米的思考[J].云南农业大学学报,2002,17(3):291-293,296.

[23] RAHMAN N A, ROSLI W I W. Nutritional compositions and antioxidative capacity of the silk obtained from immature and mature corn [J]. Journal of king saud university, 2014, 26(2): 119-127.

[24] 宋锡章.青饲和青贮专用玉米品种应用现状及发展趋势[J].黑龙江农业科学,2003(3):30-32.

[25] 杨国航,吴金锁,张春原,等.青贮玉米品种利用现状与发展[J].作物杂志,2010(2):13-15.

[26] 杜志宏,张福耀,平俊爱,等.我国青贮玉米育种研究进展及发展趋势[J].山西农业科学,2010,38(2):85-87.

[27] 赵建武,邱海杰,杨慧勇,等.特用玉米生产现状及发展对策[J].山西农业科学 2009, 37(3): 3-6.

[28] BOON E J M C, STRUIK P C, ENGELS F M, et al. Stem characteristics of two forage maize (*Zea mays* L.) cultivars varying in whole plant digestibility: IV. Changes during the growing season in anatomy and chemical composition in relation to fermentation characteristics of a lower internode [J]. NJAS - Wageningen journal of life sciences, 2012, 59(1/2): 13-23.

[29] LU H J, BERNARDO R, OHM H W. Mapping QTL for popping expansion volume in popcorn with simple sequence repeat markers [J]. Theor Appl Genet, 2003, 106(3): 423-427.

[30] 刘艳阳,李玉玲,余永亮,等.爆裂玉米膨爆机理的研究进展[J].玉米科学,2007,15(2):58-60.

[31] 史振声.沈农系列爆裂玉米新品种综合研究[J].沈阳农业大学学报,1992,23(3):209-214.

[32] KETTHAISONG D, SURIHARN B, TANGWONGCHAI R, et al. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches after harvest and in mechanical properties of fresh cooked kernels during storage [J]. Food chemistry, 2014, 151: 561-567.

[33] 龚魁杰,李青,陈利容,等.山东鲜食玉米产业发展现状与对策[J].山东农业科学,2017,49(1):141-147.

[34] 孟令聪,路明,张志军,等.我国青贮玉米育种研究进展[J].北方农业学报 2016, 44(4): 99-104.

[35] 王晓东.我国甜玉米育种的研究现状及发展趋势[J].黑龙江农业科学,2014(10):146-148.

[36] 姚文华,韩学莉,汪燕芬,等.我国甜玉米育种研究现状及发展对策[J].中国农业科技导报,2011,13(2):1-8.