

不同产地阳春砂果实形态特征与药用成分分析

王延谦^{1,2}, 杨春勇^{1,2}, 罗承彬³, 彭建明^{1,2}, 李戈^{1,2}, 李爽^{1,2}, 张丽霞^{1,2*}

(1. 中国医学科学院, 北京协和医学院, 药用植物研究所云南分所, 云南景洪 666100; 2. 西双版纳州傣药南药重点实验室, 云南景洪 666100; 3. 西双版纳傣族自治州农业科学研究所, 云南景洪 666100)

摘要 [目的]分析不同产地阳春砂果实形态特征与药用成分含量差异,探究更科学的品质评价方法。[方法]收集云南、广东、广西3个产区共9个产地的阳春砂成熟新鲜果实,采用电子数显卡尺和电子天平测量果实形态特征,采用气相色谱法检测乙酸龙脑酯和挥发油含量,并利用加权系数法对药用成分进行综合加权评分。[结果]阳春砂存在大果型、小果型、长果型、圆果型、红果型、黑果型6种果型特征,道地产地广东阳春均为红色小果长形,云南产果型变异最丰富。广东阳春春湾镇产乙酸龙脑酯含量最高,云南马关八寨镇产总挥发油含量最高,采用加权系数法进行综合加权评分,云南景洪基诺乡产评分最高。[结论]根据药用成分含量和综合加权评分将阳春砂分为优质品、良品、合格品、不合格品4个等级,云南景洪基诺乡产为优质品,广东阳春春湾镇产为良品,其他均为合格品。该研究可为不同产地阳春砂鉴定和砂仁药材商品质量控制提供一定参考。

关键词 阳春砂;果型;乙酸龙脑酯;挥发油;加权系数法

中图分类号 S567 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)19-0186-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.19.054



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Morphological Characteristics and Medicinal Composition of Fruits of *Amomum villosum* Lour. in Different Producing Areas

WANG Yan-qian^{1,2}, YANG Chun-yong^{1,2}, LUO Cheng-bin³ et al (1. Yunnan Branch, Institute of Medicinal Plant, Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, Jinghong, Yunnan 666100; 2. Xishuangbanna Key Laboratory of Dai Traditional Medicine and Southern Chinese Traditional Medicine, Jinghong, Yunnan 666100; 3. Xishuangbanna Institute of Agricultural Sciences, Jinghong, Yunnan 666100)

Abstract [Objective] To analyze the difference of morphological characteristics and medicinal components of *Amomum villosum* in different producing areas, and explore better quality evaluation methods. [Method] 9 samples of *Amomum villosum* were collected from Yunnan, Guangdong and Guangxi province. The fruits morphological characteristics were measured by electronic digital caliper and electronic balance, medicinal components were determined by gas chromatogram, and weighting coefficient method was used to evaluate the quality. [Result] *Amomum villosum* had 6 fruits types, including big fruit, small fruit, long fruit, round fruit, red fruit and black fruit. The producing area of Guangdong had just one fruits type, and most abundant variation of fruits types in Yunnan. The content of bornyl acetate and volatile oil of *Amomum villosum* was highest in Guangdong and Yunnan, respectively. Jinuo township in Yunnan had the highest score by weighting coefficient method. [Conclusion] Based on medicinal components and weighting coefficient method, *Amomum villosum* was divided into 4 quality grades, high quality, good quality, qualified and unqualified. There were one high quality sample and one good quality sample in Yunnan and Guangdong, respectively, and no unqualified products. This study was beneficial to identification and quality control of medicinal materials of *Amomum villosum*.

Key words *Amomum villosum* Lour.; Fruit type; Bornyl acetate; Volatile oil; Weighting coefficient method

砂仁为常用大宗中药材、传统四大南药之一,本草称缩砂密,具有行气、止痛、健脾、安胎、止呕等功效^[1]。《中华人民共和国药典》(2015年版一部)记载其为姜科豆蔻属多年生草本植物阳春砂(*Amomum villosum* Lour.)、绿壳砂(*Amomum villosum* Lour. var. *xanthioides* T. L. Wu et Senjen)或海南砂(*Amomum longiligulare* T. L. Wu)的干燥成熟果实^[2],主产于我国广东、云南、广西、福建等省区,其中以阳春砂品质最佳,驰名中外。有报道称阳春砂从植株形态上分为大青苗、黄苗仔和变态种3个类型^[3],从鲜果形态上分为长果型和圆果型2个栽培品种^[4],这些报道均以道地产区广东阳春产阳春砂为研究对象,从名称上亦带有浓郁的粤语方言味道。随着广东经济快速发展和生态环境的破坏,道地产区阳春砂种植面积急剧萎缩,而引种产区云南和广西阳春砂种植面积及

产量稳步增长,特别是云南已成为我国阳春砂的最大产区^[5-6]。对阳春砂果实形态特征的研究主要集中于道地产区,而引种产区及各产地比较等研究国内外鲜见报道,同时对各产区阳春砂进行品质比较的研究亦较少。因此,对道地产区和引种产区阳春砂的果实形态特征和药用成分进行比较和分析具有重要的现实意义。该研究以阳春砂成熟鲜果形态特征和干果药用成分含量为测定指标,对云南、广东、广西3个产区进行比较和分析,可为不同产地阳春砂仁的辨别、商品质量控制及开发利用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 9份供试样品于2018年8月分别采自云南勐腊县勐腊镇(YCS1)、云南马关县八寨镇(YCS2)、云南勐腊县尚勇镇(YCS3)、云南景洪市景哈乡(YCS4)、云南屏边县大树乡(YCS5)、云南景洪市基诺乡(YCS6)、广西隆安县城厢镇(YCS7)、广东阳春市蟠龙镇(YCS8)、广东阳春市春湾镇(YCS9),经中国医学科学院药用植物研究所云南分所彭建明副研究员鉴定为阳春砂(*Amomum villosum* Lour.)的新鲜成熟果实。

基金项目 国家重点研发计划(2017YFC1701102);云南省重大科技专项(2018ZF011)。**作者简介** 王延谦(1985—),男,四川绵阳人,助理研究员,博士,从事药用植物栽培及育种研究。*通信作者,副研究员,硕士,从事药用植物资源和栽培研究。**收稿日期** 2019-05-06

1.2 仪器和试剂 GUO GEN 电子数显卡尺(上海台海工量具有限公司);ME203E 型电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);DHG-9070A 型电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);DFT-200 型药材粉碎机(温岭市林大机械有限公司);WF-500 型超声波清洗仪(宁波海曙五方超声设备有限公司);Agilent 7890A 型气相色谱仪(安捷伦科技有限公司);HH-S4 型数显恒温水浴锅(金坛市医疗仪器厂);乙酸龙脑酯对照品(中国食品药品检定研究院,批号 PCS0607);无水乙醇(分析纯,天津市大茂化学试剂厂,批号 20170901)。

1.3 外部形态指标的测定 每份阳春砂样品随机选取 30 个鲜果,使用游标卡尺测量果纵径和果横径;阳春砂鲜果使用电热干燥箱 80 ℃ 烘烤 48 h 后称量干果重量。

1.4 乙酸龙脑酯和挥发油的测定 乙酸龙脑酯和挥发油按照《中华人民共和国药典》2015 版一部“砂仁”项下方法检测^[2]。

1.5 数据统计及分析 采用 Excel 2007 和 SPSS 24.0 软件进行数据统计和分析,加权系数法按照王喜林^[7]进行计算。

2 结果与分析

2.1 不同产地阳春砂鲜果形态特征比较分析 野外调查发现,不同产地阳春砂的成熟新鲜果实其外观形态特征存在一定差异,如大小果型和长圆果型(图 1A)、红黑果型(图 1B)等。为量化阳春砂鲜果的形态特征,选择 9 个不同产地阳春砂的成熟新鲜果实进行形态特征比较分析(图 1 和表 1)。目测结果表明,阳春砂明显具有红果和黑果 2 种颜色种质,其中广东阳春 2 个产区均为红果,广西隆安为黑果,云南产区主要以黑果种质为主,但在马关县产区有红果种质分布。

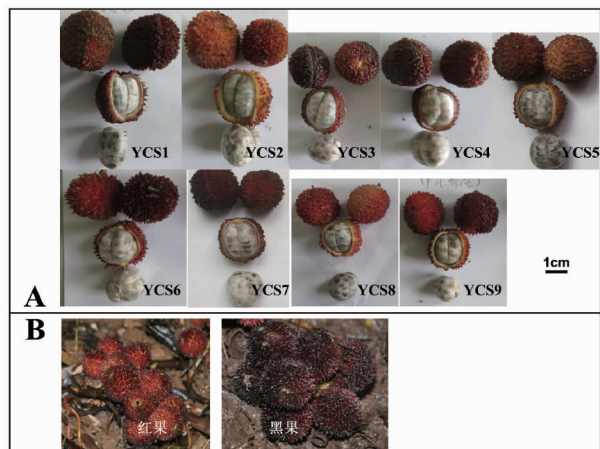


图 1 阳春砂成熟鲜果形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of mature fresh fruit of *Amomum villosum* in different producing areas

由表 1 可知,9 个产地阳春砂果纵径在 16.73 ~ 21.39 mm,大小依次为 YCS1 > YCS4 > YCS2 > YCS6 > YCS7 > YCS5 > YCS3 > YCS9 > YCS8, YCS1 果纵径最大且与其他产地差异显著;果横径在 15.95 ~ 21.16 mm,大小依次为 YCS1 > YCS2 > YCS6 > YCS5 > YCS7 > YCS4 > YCS3 > YCS9 > YCS8, YCS1 果横径最大;纵横比在 0.93 ~ 1.09,大小依次为 YCS4 > YCS8 > YCS9 > YCS1 > YCS6 = YCS7 > YCS3 > YCS2 > YCS5;纵横积在 267.97 ~ 455.07,大小依次为 YCS1 > YCS2 > YCS6 > YCS4 > YCS7 > YCS5 > YCS3 > YCS9 > YCS8, YCS1 纵横积最大且与其他产地差异显著;果总重在 24.77 ~ 34.97 g,大小依次为 YCS1 > YCS2 > YCS6 > YCS7 > YCS5 > YCS9 > YCS8 > YCS3 > YCS4, YCS1 果总重最大。9 个产地阳春砂果实颜色以黑色为主,红色果实主要分布于广东阳春和云南马关。

表 1 不同产地阳春砂成熟鲜果形态特征比较分析($\bar{x} \pm S, n = 30$)

Table 1 Comparative analysis of morphological characteristics of fruits of *Amomum villosum* in different producing areas

编号 No.	果纵径 Vertical diameter mm	果横径 Cross diameter mm	纵横比 Aspect ratio	纵横积 Vertical and cross product	果总重 Total weight of fruit//g	单果均重 Per fruit weight//g	果色 Fruit color
YCS1	21.39±2.63 a	21.16±1.47 a	1.01±0.10 bc	455.07±78.96 a	34.97	1.17	紫黑色
YCS2	19.88±1.41 bc	20.83±1.48 ab	0.96±0.05 de	415.78±55.24 b	34.62	1.15	鲜红色
YCS3	17.18±1.35 de	17.75±1.36 d	0.97±0.02 cde	306.66±47.75 f	26.94	0.90	紫黑色
YCS4	20.42±1.83 b	18.75±1.38 c	1.09±0.11 a	383.33±48.59 cd	24.77	0.83	褐红色
YCS5	17.76±2.69 d	19.44±2.34 c	0.93±0.18 e	345.68±67.85 e	32.79	1.09	褐红色
YCS6	19.74±1.62 bc	20.27±1.65 b	0.98±0.05 cde	402.21±60.97 bc	34.52	1.15	紫黑色
YCS7	18.98±1.19 c	19.34±1.31 c	0.98±0.06 cd	368.05±42.15 de	33.61	1.12	褐红色
YCS8	16.73±1.12 e	15.95±1.21 e	1.05±0.05 ab	267.97±34.72 g	28.25	0.94	鲜红色
YCS9	16.76±1.08 e	16.09±1.33 e	1.04±0.06 b	270.73±36.02 g	29.11	0.97	鲜红色

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);纵横比=果纵径/果横径;纵横积=果纵径×果横径;果总重是所测量的 30 个鲜果烘干后总重量,单果均重=果总重/30

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$); aspect ratio = vertical diameter / cross diameter; vertical and cross product = vertical diameter × cross diameter; the total weight of the fruit is the total weight of the 30 fresh fruits measured after drying. Per fruit weight is total fruit weight divided by 30

果纵径与横径无关联,纵横径差值越小,纵横比越接近 1 (圆果型),差值越大,纵横比越远离 1 (长果型);纵横径大,纵横积亦较大(大果型),纵横径小,纵横积亦小(小果型)。纵横积越大,果重亦大,仅 YCS4 不一致,这与景哈乡种植户摘果过早(每年 8 月初摘果,未完全成熟水分含量高)有关。

2.2 阳春砂果型标准制定与不同产地果型分析 阳春砂种质中存在 6 种果型特征:大果型、小果型、长果型、圆果型、红果型、黑果型。经综合分析制定阳春砂不同果型特征的参考标准(表 2),鲜果纵横比 $R \geq 1.04$ 或 $R \leq 0.96$ 为长果型阳春砂, $0.96 < R < 1.04$ 为圆果型;鲜果纵横积 $P \geq 400$ 或干果均重

$W \geq 1.15$ g 为大果型阳春砂,纵横积 $P < 400$ 或干果均重 $W < 1.15$ g 为小果型;鲜果颜色目测为鲜红色是红果型阳春砂,

紫黑色或褐红色为黑果型。

表 2 阳春砂不同果型特征参考标准

Table 2 Reference standard of different morphological characteristics of *Amomum villosum*

果型指标 Fruit type	纵横比(R) Aspect ratio	纵横积(P) Vertical and cross product	单(干)果均重(W) Average weight//g	鲜果颜色 Fruit color
长果型 Long fruit type	$R \geq 1.04$ 或 $R \leq 0.96$			
圆果型 Round fruit	$0.96 < R < 1.04$			
大果型 Large fruit type		$P \geq 400$	$W \geq 1.15$	
小果型 Small fruit type		$P < 400$	$W < 1.15$	
红果型 Red fruit type				鲜红色
黑果型 Black fruit type				紫黑色或褐红色

分析发现 9 个产地阳春砂果型如表 3 所示,广东阳春 2 个产地(YCS8、YCS9)均为红色小果长形,广西隆安(YCS7)为黑色小果圆形;云南产区果型变异丰富,长圆、大小、黑红等果型均有分布。

表 3 9 个产地阳春砂果型分析

Table 3 Fruit type analysis of *Amomum villosum* in different producing areas

编号 No.	长/圆果 Long or round fruit	大/小果 Big of small fruit	黑/红果 Black or red fruit	果型 Fruit type
YCS1	圆果	大果	黑果	黑色大果圆形
YCS2	长果	大果	红果	红色大果长形
YCS3	圆果	小果	黑果	黑色小果圆形
YCS4	长果	小果	黑果	黑色小果长形
YCS5	长果	小果	黑果	黑色小果长形
YCS6	圆果	大果	黑果	黑色大果圆形
YCS7	圆果	小果	黑果	黑色小果圆形
YCS8	长果	小果	红果	红色小果长形
YCS9	长果	小果	红果	红色小果长形

2.3 不同产地阳春砂乙酸龙脑酯和挥发油含量比较分析 由表 4 可知,不同产地阳春砂的乙酸龙脑酯和挥发油含量存在差异,乙酸龙脑酯含量 YCS9 最高,超出药典标准 82%,而最低的 YCS2 低于药典标准 13%,含量高低依次为 YCS9>YCS6>YCS3=YCS7>YCS4>YCS8>YCS1>YCS5>YCS2;挥发油含量 YCS2 最高,高于药典标准 38%,YCS4 低于药典标准 11%,含量高低依次为 YCS2>YCS6>YCS5>YCS3>YCS1>YCS9>YCS8>YCS7>YCS4。利用加权系数法对各产地阳春砂药用成分进行综合加权评分,各产地均高于药典标准的加权评分,大小依次为 YCS6>YCS9>YCS3>YCS5>YCS2>YCS7>YCS4>YCS1=YCS8。乙酸龙脑酯和挥发油含量越高,综合加权评分也越高,代表阳春砂品质越好。乙酸龙脑酯含量对综合加权评分影响较大,挥发油含量影响较小。乙酸龙脑酯、挥发油含量、综合加权评分与各果型特征之间无必然联系,表明阳春砂品质高低与果型无关。

2.4 阳春砂品质分级参考标准制定与不同产地品质评价 根据对各产地阳春砂品质分析,将阳春砂干品分为 4 个等级(表 5):优质品,综合加权评分、乙酸龙脑酯和挥发油含量均需满足表中要求;良品,综合加权评分和乙酸龙脑酯含

量满足要求即可;合格品,综合加权评分不小于药典标准即可;不合格品,综合加权评分 $W < 1.39$ 。按照该分级标准,9 个阳春砂产地中仅 YCS6 为优质品砂仁, YCS9 为良品砂仁,其他均为合格品砂仁。

表 4 9 个产地阳春砂乙酸龙脑酯和挥发油测定及其品质综合评价($\bar{x} \pm S, n=3$)

Table 4 Content detection and comprehensive evaluation of bornyl acetate and volatile oil of *Amomum villosum* in different producing areas

编号 No.	A(乙酸龙脑酯) Bornyl acetate %	B(挥发油) Volatile oil %	综合加权评分 Comprehensive weighted score	品质评价 Quality evaluation
YCS1	0.97±0.11 bc	3.09±0.13 cd	1.46±0.09 d	合格品
YCS2	0.78±0.01 d	4.13±0.12 a	1.56±0.02 cd	合格品
YCS3	1.11±0.03 b	3.26±0.01 c	1.61±0.02 c	合格品
YCS4	1.10±0.01 b	2.68±0.02 e	1.47±0.01 d	合格品
YCS5	0.93±0.13 c	3.80±0.15 b	1.60±0.07 c	合格品
YCS6	1.56±0.05 a	4.05±0.07 a	2.14±0.04 a	优质品
YCS7	1.11±0.01 b	2.71±0.08 e	1.48±0.01 d	合格品
YCS8	1.06±0.01 bc	2.81±0.04 e	1.46±0.01 d	合格品
YCS9	1.64±0.01 a	3.04±0.06 d	1.96±0.02 b	良品
药典标准 Standards	≥0.90	≥3.00	≥1.39	

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases mean significant differences ($P < 0.05$)

表 5 阳春砂品质分级参考标准

Table 5 Reference standard of quality grading of *Amomum villosum*

分级标准 Grading standard	综合加权评分(W) Comprehensive weighted score	乙酸龙脑酯(L) Bornyl acetate %	挥发油(V) Volatile oil %
优质品 Best quality	$W \geq 2.00$	$L \geq 1.5$	$V \geq 4.0$
良品 Good quality	$1.80 \leq W < 2.00$	$L \geq 1.3$	
合格品 Qualified	$1.39 \leq W < 1.80$		
不合格品 Unqualified	$W < 1.39$		

3 结论与讨论

阳春砂道地产地位于广东省阳春市,种植面积小、产量低、需人工授粉成本较高,随着砂仁需求量增加和价格攀升,阳春砂被大量引种至云南、广西等地,特别是云南已发展为阳春砂最大产区^[6,8]。广西和云南生态环境多样、森林和昆虫资源丰富,在自然林下种植并经昆虫传粉,成本低效益高,

深得贫困山区老百姓喜爱,可作为滇桂贫困地区精准扶贫的中药材种植品种。引种产区阳春砂表型性状变异丰富^[9-10],可能与不同生态环境下遗传物质差异表达有关,同时昆虫传粉引起的种内和种间杂交也会导致杂交后代表型变异。该研究通过调查分析云南、广东、广西 3 个产区共 9 个产地阳春砂成熟鲜果形态特征,发现存在大果型、小果型、长果型、圆果型、红果型、黑果型等特征,其中道地产地广东阳春仅存在红色小果长型阳春砂,云南产区果型变异最为丰富,该结果表明阳春砂存在一定的遗传多样性,其表型性状多样性是由遗传多样性和生态环境多样性共同作用的结果。在研究中发现干果重与果大小有关,与其他果型无关,表明阳春砂选育种以高产为目标时可将大果型阳春砂作为选育对象。

广东阳春作为阳春砂道地产地,文献报道认为其品质较引种产区高^[11-13],单以乙酸龙脑酯作为指标进行品质评价,广东阳春春湾镇产阳春砂(YCS9)最高(1.64%),云南景洪基诺乡(YCS6)次之(1.56%),与文献报道一致,但广东阳春蟠龙镇(YCS8)仅 1.06%,与报道不符。同时道地产地阳春砂总挥发油含量并不高,甚至蟠龙镇产(YCS8)未达药典标准,而云南部分产地总挥发油含量高达 4.0%以上,远高于药典标准,说明使用单一成分判定品质高低有其局限性。该研究采用综合加权评分并制定分级标准来判定阳春砂品质高低,将其分为优质品、良品、合格品、不合格品 4 个等级,该研究中云南景洪基诺乡产评分最高且为唯一优质品,广东阳春春湾镇次之,为良品,其他产地均为合格品,未有不合格品。有关文献中报道引种产区特别是云南产阳春砂药用成分含量低品质不合格的原因主要是由于其试验材料来自于药材市场,阳春砂中大量掺杂伪品砂仁(如老挝砂、缅砂、巴塞砂

等)造成的。综合分析发现,道地产地阳春砂品质未明显高于引种产区、市场上道地产地阳春砂价格远远高于引种产区的现象应是传统中医用药讲究“道地性”以及广东本地商业炒作引起的,应理性看待。

阳春砂果型变异与遗传多样性和生态环境多样性有关,药用成分含量和品质高低与产地关系不大。通过优良种质筛选和新品种选育、进行科学种植和管理、严格把控采收加工环节等措施,是提高阳春砂品质的最有效途径。

参考文献

- [1] 李时珍.本草纲目:第 2 册[M].北京:人民卫生出版社,1977:869.
- [2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[S].北京:中国医药科技出版社,2015:253.
- [3] 赖小平,刘心纯.中药砂仁五个品种的生化鉴定[J].广州中医学院学报,1989,4(4):242-246.
- [4] 何瑞,杨锦芬,詹若挺,等.道地产区不同栽培品种阳春砂果实与花形态特征调查与分析[J].广州中医药大学学报,2010,27(1):57-61.
- [5] 胡耀华,胡新文,何春生.几种阴生药用植物产销情况调查报告(II.砂仁)[J].热带农业科学,2003,23(4):35-40.
- [6] 陈建设,李海涛,唐德英,等.云南阳春砂产业现状及发展对策[J].中国现代中药,2015,17(7):690-693.
- [7] 王喜林.加权系数法在土壤等级评价上的应用[J].安徽农业科学,2010,38(31):17477-17478.
- [8] 张丹雁,刘军民,熊清平,等.阳春砂资源调查与分析[J].广州中医药大学学报,2008,25(1):77-80.
- [9] 段立胜,张丽霞,彭建明,等.西双版纳阳春砂仁种质资源调查初报[J].时珍国医国药,2009,20(3):627-628.
- [10] 李戈,王艳芳,唐玲,等.云南阳春砂仁表型性状变异及其相关和通径分析[J].云南中医学院学报,2015,38(1):38-41,47.
- [11] 付琛,周日水,周光雄.不同产地品种阳春砂仁挥发油化学成分的气相色谱-质谱联用分析[J].时珍国医国药,2010,21(10):2534-2536.
- [12] 敖慧,刘红梅,王江瑞,等.不同产地砂仁的挥发油 GC-MS 分析及重金属残留测定[J].中药新药与临床药理,2016,27(2):250-254.
- [13] 马小花,展学孔,林书兰,等.不同产地及来源砂仁的质量评价初步研究[J].中国民族民间医药,2017,26(23):42-44.
- [14] 孙大容.花生育种学[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [15] 王伶俐,王翠霞,赵春香.发生花生黄曲霉毒素的主要原因及防治措施[J].吉林农业,2010(4):113.
- [16] BATTILANI P, PIETRI A, BARBANO C, et al. Logistic regression modelling of cropping systems to predict fumonisin contamination in maize[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2008, 56(21):10433-10438.
- [17] LAUREN D R, SMITH W A, DI MENNA M E. Influence of harvest date and hybrid on the mycotoxin content of maize (*Zea mays*) grain grown in New Zealand[J]. New Zealand journal of crop horticultural science, 2007, 35(3):331-340.
- [18] PRESELLO D A, IGLESIAS J, BOTTA G, et al. Severity of *Fusarium* ear rot and concentration of fumonisin in grain of Argentinian maize hybrids[J]. Crop protection, 2007, 26(6):852-855.
- [19] JONES R K, DUNCAN H E, HAMILTON P B. Planting date, harvest date and irrigation effect on infection and aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in field corn[J]. Phytopathology, 1981, 71(8):810-816.
- [20] BILGRAMI K S, CHOUDHARY A K. Mycotoxins in preharvest contamination of agricultural crops[M]//SINHA K K, BHATNAGAR D. Mycotoxins in agriculture and food safety. New York: Marcel Dekker Publishers, 1998: 1-43.
- [21] WIATRAC P J, WRIGHT D L, MAROIS J J, et al. Influence of planting date on aflatoxin accumulation in Bt, non-Bt, and Tropical non-Bt Hybrids[J]. Agron J, 2005, 97:440-445.
- [22] PARSONS M W, MUNKVOLD G P. Associations of planting date, drought stress, and insects with *Fusarium* ear rot and fumonisin B₁ contamination in California maize[J]. Food Addit Contam: Part A, 2010, 27(5):591-607.
- [23] BLANDINO M, REYNERI A, VANARA F, et al. Effect of sowing date and insecticide application against European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on fumonisin contamination in maize kernels[J]. Crop Prot, 2008, 27(11):1432-1436.
- [24] ABBAS H K, SHIER W T, CARTWRIGHT R D. Effect of temperature, rainfall and planting date on aflatoxin and fumonisin contamination in commercial Bt and non-Bt corn hybrids in Arkansas[J]. Phytoprotection, 2007, 88:41-50.

(上接第 185 页)