

苗 智,马养民,孔 阳,等. 1 株链格孢属真菌生物碱类代谢产物的研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):314-316,348.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.081

1 株链格孢属真菌生物碱类代谢产物的研究

苗 智,马养民,孔 阳,闫梦茹,王 健

(陕西科技大学化学与化工学院/轻工化工助剂化学与技术省部共建教育部重点实验室,陕西西安 710021)

摘要:为进一步开发和利用夹竹桃的内生真菌,对 1 株分离自夹竹桃茎部链格孢属内生真菌的代谢产物进行研究。利用硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 柱色谱等方法对该菌株的发酵产物进行分离,再经过重结晶纯化,得到 5 个生物碱类化合物。对所得化合物的理化性质和 $^1\text{H-NMR}$ 、 $^{13}\text{C-NMR}$ 数据进行分析,确定这 5 个化合物的结构。采用最小抑菌浓度法和 DPPH 自由基法对所得化合物进行抑菌活性和抗氧化活性测试。结果表明,这 5 个化合物分别为次黄嘌呤(1)、腺嘌呤(2)、尿囊素(3)、胸腺嘧啶脱氧核苷(4)、尿嘧啶核苷(5)。其中,化合物 1、3、4、5 为首次从链格孢属真菌的发酵物中分离得到。化合物 3(尿囊素)具有一定的抑菌活性和抗氧化活性,化合物 2(腺嘌呤)具有一定的抗氧化活性。夹竹桃链格孢属内生真菌具有一定的开发和利用价值。

关键词:夹竹桃;链格孢属;内生真菌;重结晶;生物碱类;抑菌活性;抗氧化活性

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0314-03

生物碱类化合物是指生物体内一类除了氨基酸、肽类、蛋白质和维生素 B 以外含氮原子的有机化合物的总称^[1]。自 19 世纪初期出现关于生物碱的报道,至今已有 200 多年的历史。现已发现 1 万多种生物碱类化合物,它们具有抗菌^[2-3]、抗氧化^[4]、抗肿瘤^[5-6]等生物活性。内生真菌是指全部阶段或一定阶段生活在健康植物组织内,对植物组织没有造成明显病害的真菌^[7],它们能够产生生物碱类、黄酮类、萜类、甾体类、醌类、苯丙素类、肽类等多种类别的次生代谢产物,具有多种多样的生物活性^[8],在医药和农业等行业中具有重大的应用价值。因此,研究植物内生真菌的活性成分具有十分重要的意义。夹竹桃(*Nerium indicum*)是夹竹桃科夹竹桃属植物^[9],是强心类中药,主要有强心利尿、镇痛、祛痰定喘、祛瘀等功效^[10]。目前,国内外对夹竹桃的研究多集中于其植株的化学成分,对其内生真菌代谢产物的报道甚少。笔者所在课题组从夹竹桃植物中分离得到 35 株内生真菌,并对 1 株分离自茎部的内生真菌 J14 菌株进行研究,从其发酵产物中分离得到 8 个化合物,其中含有 3 个生物碱类化合物,分别为胸腺嘧啶、尿嘧啶、黄嘌呤^[11]。因此,本试验继续对该菌株的生物碱类代谢产物进行研究,以丰富国内外对夹竹桃内生真菌代谢产物的研究,为进一步开发和利用夹竹桃内生真菌奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验菌株

内生真菌 J14 菌株,分离自秦岭地区夹竹桃的茎部,经鉴

定为链格孢属真菌,4℃条件下保存于笔者所在实验室。

1.2 试验仪器和试剂

SW-CJ-1FD 超净工作台,购自上海博迅实业有限公司医疗设备厂;YX280B 手提式压力蒸汽灭菌锅,购自上海三申医疗器械有限公司;DH5000B 电热恒温培养箱,购自天津市泰斯特仪器有限公司;HZQ-Q 全温数显振荡器,购自江苏省金坛市瑞华仪器厂;BS224S 电子天平,购自赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;RE52CS-1 旋转蒸发仪,购自上海亚荣生化仪器厂;Bruker avance III-400 Hz 超导核磁共振仪,购自布鲁克(北京)科技有限公司;XT-5 显微熔点测定仪,购自北京市科仪电光仪器厂;柱色谱硅胶 200~300 目,购自青岛海洋化工厂分厂;柱色谱凝胶 Sephadex LH-20,购自上海浩然生物技术有限公司;薄层色谱硅胶 G,购自青岛海浪硅胶干燥剂厂;试验所用化学试剂均为国产分析纯试剂。

1.3 培养基

马铃薯葡萄糖液体培养基:20 g 葡萄糖、1 000 mL 20% 马铃薯浸汁,pH 值自然;牛肉膏蛋白胨液体培养基:10 g 蛋白胨、5 g 牛肉膏、5 g NaCl、1 000 mL H_2O ,pH 值自然;大米培养基:75 g 大米 + 无糖察氏液体培养基(0.3 g NaNO_3 、0.1 g K_2HPO_4 、0.05 g KCl、0.05 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、0.001 g FeSO_4 、1 00 mL H_2O ,pH 值自然)。

1.4 测试菌

细菌:金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、乳酸链球菌(*Streptococcus lactis*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)、绿脓杆菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、植物病原菌真菌:小麦赤霉病病菌(*Fusarium graminearum*)、番茄灰霉病病菌(*Botrytis cinerea*)、烟草赤星病病菌(*Alternaria alternata*)、白菜黑斑病病菌(*Alternaria brassicae*)、辣椒疫霉病病菌(*Phytophthora capsici*)、苹果树腐烂病病菌(*Valsa mali*)、葡萄炭疽病病菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)、芍药炭疽病病菌(*Peony anthracnose*)、玉米大斑病病菌(*Setosphaeria turcica*)、油菜菌核病病菌(*Sclerotinia sclerotiorum*);均保存于 4℃备用。

收稿日期:2016-05-31

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(编号:20116125110001);陕西省自然科学基金基础研究计划(编号:2014JZ003);陕西省教育厅自然科学基金专项(编号:2013JK0726)。

作者简介:苗 智(1991—),男,硕士研究生,主要从事天然产物化学研究。E-mail:pokemon001@126.com。

通信作者:马养民,博士,教授,博士生导师,主要从事天然产物化学研究。E-mail:mym63@sina.com。

1.5 菌株发酵和代谢产物的提取分离

试验菌株经过活化后,采用大米培养基进行固体发酵,于 28 ℃ 静置培养 30 d。将发酵物阴干粉碎后分别用乙酸乙酯、甲醇溶液提取,提取液经减压浓缩后得到 460 g 浸膏。采用硅胶柱色谱对浸膏进行分离,以石油醚、乙酸乙酯、甲醇为溶剂进行梯度洗脱,得到 4 个组分。组分 2(96.93 g)经过多次硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 柱色谱分离,再经过重结晶纯化,依次得到 30 mg 化合物 1、63 mg 化合物 2。组分 3(133.83 g)经过多次硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 柱色谱分离,再经过重结晶纯化,依次得到 53 mg 化合物 3、136 mg 化合物 4、161 mg 化合物 5。

1.6 代谢产物的结构鉴定

对所得化合物的形状、颜色等理化性质进行观察,并测量其熔点,再采用核磁共振(^1H -NMR、 ^{13}C -NMR 等)对所得化合物的结构进行解析,最后与相关参考文献进行对照,确定所得化合物的结构。

1.7 抑菌活性测试

对所得化合物进行抑菌活性测试,它们对微生物生长的抑制作用可通过最小抑菌浓度来判断,具体操作^[12]如下:(1)将斜面培养基上已活化的测试菌用无菌水冲洗下来,再用牛肉膏蛋白胨液体培养基(细菌)、马铃薯葡萄糖液体培养基(真菌)将其配制成浓度为 10^6 CFU/mL 的菌悬液;(2)用二甲基亚砜将待测化合物溶解,使其浓度为 1 mg/mL;(3)在 96 孔板的第 1 孔至第 12 孔中均加入 100 μL 液体培养基,再向第 1 孔中加入 100 μL 待测化合物溶液,利用二倍稀释法连续稀释至第 10 孔,第 11、第 12 孔分别留作液体培养基和二甲基亚砜的空白对照;(4)向上述 96 孔板中的每个孔中均加入 100 μL 测试菌悬液。重复上述试验操作,每组进行 3 次平行试验。以青霉素钠作为革兰氏阳性菌的阳性对照,硫酸链霉素作为革兰氏阴性菌的阳性对照,多菌灵作为植物病原真菌的阳性对照。将细菌试验组的 96 孔板在 37 ℃ 下恒温培养 24 h、植物病原真菌试验组的 96 孔板在 28 ℃ 下恒温培养 48 h 后观察并记录试验结果。

1.8 抗氧化活性测试

对所得化合物进行清除 DPPH 自由基的抗氧化活性测试,具体操作^[13]如下:(1)将待测化合物溶解于甲醇溶液中,使其浓度为 2 mg/mL;(2)在酶标板的第 1、第 2 排的每个孔中均加入 100 μL 甲醇溶液,再向每排的第 1 孔中均加入 100 μL 待测化合物溶液,利用二倍稀释法连续稀释至第 11 孔,第 12 孔留作甲醇的空白对照;(3)向第 1 排的每个孔中均加入 100 μL 新配制的含 0.2 mg/mL DPPH· 的甲醇溶液,向第 2 排的每个孔中均加入 100 μL 甲醇。选用维生素 C 作为阳性对照,进行 3 次平行试验。将上述酶标板于室温下遮光放置 30 min 后,在波长为 517 nm 的酶标仪中测定每个孔的吸光度。

抗氧化性能可以根据待测化合物对 DPPH 自由基的清除率来判断,其计算公式如下:

$$E = (1 - \frac{D_1 - D_2}{D_0}) \times 100\% \quad (1)$$

式中: E 为 DPPH 自由基清除率; D_0 为 DPPH· 溶液和甲醇溶液(第 1 排第 12 孔)的吸光度; D_1 为待测化合物溶液、

DPPH· 溶液和甲醇溶液(第 1 排前 11 个孔)的吸光度; D_2 为待测化合物溶液和甲醇溶液(第 2 排前 11 个孔)的吸光度。

根据公式(1)计算出不同浓度下化合物的自由基清除率。以化合物浓度为横坐标(x),自由基清除率为纵坐标(y),绘制自由基清除率曲线图,并对其进行线性拟合。按照拟合方程计算出当 $y = 50$ 时 x 的值,此时 x 的值就是化合物的半抑制浓度 IC_{50} 。

2 结果与分析

2.1 代谢产物的结构鉴定

从试验菌株的发酵物中分离得到 5 个生物碱类化合物,分别为次黄嘌呤(1)、腺嘌呤(2)、尿囊素(3)、胸腺嘧啶脱氧核苷(4)、尿嘧啶核苷(5),其化学结构如图 1 所示。

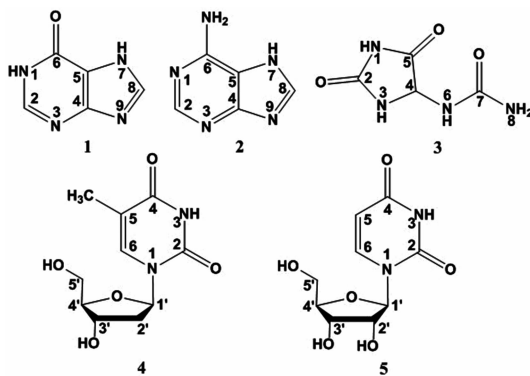


图1 5个化合物的化学结构

化合物 1,米黄色粉末,熔点 > 350 ℃。 ^1H -NMR(400 MHz,氘代二甲亚砜) δ : 13.36[单峰(s), 1H, 7-H], 12.25(s, 1H, 1-H), 8.13(s, 1H, 2-H), 7.99(s, 1H, 8-H)。 ^{13}C -NMR(100 MHz, 氘代二甲亚砜) δ : 155.34(6-C), 153.15(4-C), 144.65(2-C), 140.16(8-C), 119.07(5-C)。化合物 1 的核磁共振试验数据与文献[14]报道的数据基本一致,因此确定化合物 1 为次黄嘌呤(hypoxanthine)。

化合物 2,米黄色粉末,熔点 > 350 ℃。 ^1H -NMR(400 MHz,氘代二甲亚砜) δ : 12.84(s, 1H, 7-H), 8.11(s, 1H, 2-H), 8.10(s, 1H, 8-H), 7.09(s, 1H, 6-NH₂)。 ^{13}C -NMR(100 MHz, 氘代二甲亚砜) δ : 155.14(6-C), 152.39(2-C), 150.91(4-C), 139.53(8-C), 117.35(5-C)。化合物 2 的核磁共振试验数据与文献[15]报道的数据基本一致,因此确定化合物 2 为腺嘌呤(adenine)。

化合物 3,淡黄色粉末,熔点 239 ~ 240 ℃。 ^1H -NMR(400 MHz,氘代二甲亚砜) δ : 10.55(s, 1H, 1-H), 8.07(s, 1H, 3-H), 6.90[d, 耦合常数(J) = 8.2 Hz, 1H, 6-H], 5.81(s, 2H, 8-H), 5.25[双二重峰(dd), J = 8.2, 1.0 Hz, 1H, 4-H]。 ^{13}C -NMR(100 MHz, 氘代二甲亚砜) δ : 173.57(5-C), 157.30(7-C), 156.72(2-C), 62.36(4-C)。化合物 3 的核磁共振试验数据与文献[16]报道的数据基本一致,因此确定化合物 3 为尿囊素(allantoin)。

化合物 4,白色粉末,熔点为 185 ~ 187 ℃。 ^1H -NMR(400 MHz,氘代二甲亚砜) δ : 11.28(s, 1H, 3-H), 7.71[双峰(d), J = 1.0 Hz, 1H, 6-H], 6.17[三重峰(t), J = 6.9 Hz, 1H, 1'-H], 5.26(d), J = 4.1 Hz, 1H, 3'-OH), 5.06(t, J =

5.1 Hz,1H,5′-OH),4.25[多重峰(m),1H,3′-H],3.76(dd, $J=6.6,3.6$ Hz,1H,4′-H),3.57(m,2H,5′-H),2.07(m,2H,2′-H),1.77(s,3H,5-CH₃)。¹³C-NMR(100 MHz,氘代二甲亚砜)δ:163.72(4-C),150.43(2-C),136.10(6-C),109.32(5-C),87.21(1′-C),83.69(4′-C),70.39(3′-C),61.28(5′-C),39.36(2′-C),12.22(5-CH₃)。化合物4的核磁共振试验数据与文献[17]报道的数据基本一致,因此确定化合物4为胸腺嘧啶脱氧核苷(thymidine)。

化合物5,白色粉末,熔点为164~165℃。¹H-NMR(400 MHz,氘代二甲亚砜)δ:11.32(s,1H,3-H),7.89(d, $J=8.1$ Hz,1H,6-H),5.78(d, $J=5.4$ Hz,1H,1′-H),5.65(d, $J=8.2$ Hz,1H,5-H),5.40(d, $J=4.6$ Hz,1H,2′-OH),5.12(s,2H,3′,5′-OH),4.02(d, $J=4.5$ Hz,1H,2′-H),

3.97(d, $J=4.6$ Hz,1H,3′-H),3.84(dd, $J=6.7,3.2$ Hz,1H,4′-H),3.59(m,2H,5′-H)。¹³C-NMR(100 MHz,氘代二甲亚砜)δ:163.10(4-C),150.72(2-C),140.70(6-C),101.71(5-C),87.62(1′-C),84.79(4′-C),73.50(3′-C),69.84(2′-C),60.80(5′-C)。化合物5的核磁共振试验数据与文献[18]报道的数据基本一致,因此确定化合物5为尿嘧啶核苷(uridine)。

2.2 抑菌活性的测试结果

以4株细菌和10株植物病原真菌作为测试菌,分别选用青霉素钠、硫酸链霉素、多菌灵作为阳性对照,对所得化合物进行抑菌活性测试。由表1可知,化合物3(尿囊素)对这4株细菌和10株植物病原真菌均有一定的抑制作用;化合物1(次黄嘌呤)、化合物2(腺嘌呤)分别对辣椒疫霉病菌、烟草赤星病菌具有一定的选择性抑制作用。

表1 化合物抑菌活性测试结果

化合物	最小抑菌浓度(μg/mL)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1(次黄嘌呤)	250	250	250	250	250	250	500	250	125	250	250	250	500	250
2(腺嘌呤)	250	250	250	250	250	250	125	250	250	250	250	250	500	250
3(尿囊素)	125	125	125	125	125	62.5	125	250	62.5	125	125	125	250	62.5
4(胸腺嘧啶脱氧核苷)	250	250	250	250	250	250	500	250	250	250	250	250	500	250
5(尿嘧啶核苷)	250	250	250	250	250	250	500	250	250	250	250	250	500	250
CK ₁	3.91	3.91												
CK ₂			7.81	7.81										
CK ₃					31.3	7.81	31.3	15.6	15.6	31.3	31.3	15.6	62.5	15.6

注:CK₁为青霉素钠,CK₂为硫酸链霉素,CK₃为多菌灵;A为金黄色葡萄球菌,B为乳酸链球菌,C为大肠杆菌,D为绿脓杆菌,E为小麦赤霉病菌,F为番茄灰霉病菌,G为烟草赤星病菌,H为白菜黑斑病菌,I为辣椒疫霉病菌,J为苹果树腐烂病菌,K为葡萄炭疽病菌,L为芍药炭疽病菌,M为玉米大斑病菌,N为油菜菌核病菌。

2.3 抗氧化活性测试结果

对所得化合物进行清除 DPPH 自由基的抗氧化活性测试,其拟合方程和 IC₅₀值如表2所示,与对照维生素C的测试结果相比,化合物1~化合物5均没有较强的抗氧化活性,但化合物2(腺嘌呤)和化合物3(尿囊素)具有一定的抗氧化活性。

表2 自由基清除率测试结果

化合物	拟合方程	r ²	IC ₅₀ (μg/mL)
1(次黄嘌呤)	y=0.078x+3.810	0.980	592.18
2(腺嘌呤)	y=0.420x+8.833	0.987	98.02
3(尿囊素)	y=0.621x+2.955	0.990	75.76
4(胸腺嘧啶脱氧核苷)	y=0.092x+3.052	0.986	510.30
5(尿嘧啶核苷)	y=0.096x+6.714	0.984	450.90
维生素C	y=5.651x+8.548	0.988	7.34

3 结论与展望

对1株分离自夹竹桃茎部的链格孢属内生真菌的代谢产物进行研究,从中分离得到5个生物碱类化合物,分别为次黄嘌呤(1)、腺嘌呤(2)、尿囊素(3)、胸腺嘧啶脱氧核苷(4)、尿嘧啶核苷(5)。其中,化合物1、3、4、5为首次从链格孢属真菌的发酵物中分离得到。化合物3(尿囊素)具有一定的抑菌活性和抗氧化活性,化合物2(腺嘌呤)具有一定的抗氧化活性。因此,该菌株具有一定的开发利用价值。因此,可以对分离自夹竹桃植物中的其他内生真菌的代谢产物进行研究,以丰富国内外对夹竹桃内生真菌代谢产物的研究报道,从而进

一步开发和利用夹竹桃内生真菌。

参考文献:

[1]李 杨,左国营. 生物碱类化合物抗菌活性研究进展[J]. 中草药,2010,41(6):1006-1014.

[2]Pinheiro E A,Carvalho J M,dos Santos D C,et al. Antibacterial activity of alkaloids produced by endophytic fungus *Aspergillus* sp. EJC08 isolated from medical plant *Bauhinia guianensis*[J]. Natural Product Research,2013,27(18):1633-1638.

[3]邵志宇,冯永红,邓云霞,等. 互花米草内生真菌 *Fusarium* sp. F4 中的活性代谢物[J]. 中国天然药物,2007,5(2):108-111.

[4]王 巍,陈 超,杨 君,等. 植物内生真菌代谢物吡啶生物碱 Neoechinulin A[J]. 天然产物研究与开发,2007,19(1):48-50.

[5]Ding L,Dahse H M,Hertweck C. Cytotoxic alkaloids from *Fusarium incarnatum* associated with the mangrove tree *Avicennia coriulatum* [J]. Journal of Natural Products,2012,75(4):617-621.

[6]Li X,Tian Y,Yang S X,et al. Cytotoxic azaphilone alkaloids from *Chaetomium globosum* TY1[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters,2013,23(10):2945-2947.

[7]陈丽媛,孙翠焕. 药用植物内生真菌研究进展[J]. 微生物学杂志,2015,34(5):98-101.

[8]朱妍妍,艾 娜,张 嘉,等. 具有生物活性的植物内生真菌次生代谢产物[J]. 化学进展,2011,23(4):704-730.

[9]石华建. 夹竹桃[J]. 生物学通报,2007,42(7):18.

[10]邢晓娟. 夹竹桃的药理作用与临床应用[J]. 现代医药卫生,

继续植棉($Y=2$)对应的 Logistic 模型为

$$\log \left[\frac{P(Y=2)}{P(Y=3)} \right] = b_{20} + \sum_{i=1}^{i=11} b_{2i} X_i。 \tag{4}$$

数据处理采用 SPSS 完成。

3.2.3 回归结果及分析 采用 Logistic 模型对数据进行处理后,得到方程似然比检验卡方值为 102.345,显著性概率为 0.00,表明该模型具有显著性意义,即回归方程成立。拟合优度达到 0.506,表明方程拟合结果尚可,各变量似然比检验结果见表 2。从表 2 可以看出,除了变量 X_{10} (即棉花国家政策市场认知)之外,其他变量对方程都具有统计显著性。

表 2 各变量似然比统计量检验结果

变量	卡方值	显著性检验值
受教育程度(X_1)	20.464	0.002
年龄(X_2)	23.219	0.001
家中劳动力数量(X_3)	25.265	0.000
土地类型(X_4)	38.710	0.000
家中土地面积(X_5)	20.910	0.000
植棉面积(X_6)	22.225	0.000
已植棉历史(X_7)	45.254	0.000
植棉收入占家庭年收入比例(X_8)	19.247	0.000
上年度植棉收入变动(X_9)	20.657	0.000
国家棉花政策认知(X_{10})	3.674	0.420
国内外棉花市场认知(X_{11})	25.850	0.000

进一步对回归结果做参数估计,以 $Y=3$ 为基准,用回归方程 $Y=2$ 与其比较。对于 $Y=3$,即决定继续种棉进行参数估计的概率检验,有已植棉历史($X_7=1, X_7=2, X_7=3$)的显著性检验概率小于 0.05,具有统计显著性,得到棉农未决定是否继续植棉与决定继续植棉决策概率的 Logistic 回归方程为

$$\log \left[\frac{P(Y=2)}{P(Y=3)} \right] = 17.713 + 3.077 [X_7=1] + 1.755 [X_7=2] \pm 0.991 [X_7=3]。 \tag{5}$$

公式(5)式说明,植棉历史在 2 年以下的棉农中未决定是否继续植棉的概率是决定继续植棉概率的 21.704 倍,植棉历史在 3~5 年的棉农中未决定是否继续植棉的概率是决定继续植棉概率的 5.783 倍,植棉历史在 6~10 年的棉农中未决定是否继续植棉的概率是决定继续植棉概率的 2.693 倍。从以上分析可以看出,植棉历史越长的棉农继续植棉的概率越大,植棉历史越短的棉农在进行植棉决策时越容易犹豫。

4 结论

从 Logistic 回归分析可知,在个人因素、政策因素、市场因素、其他因素等 4 类因素中,除了政策因素中的政策认知,其他

几方面因素对新疆棉农植棉决策都有显著性影响。从回归参数估计可知,植棉历史越长的棉农继续植棉的概率越大,植棉历史越短的棉农在进行植棉决策时比植棉历史长的棉农更容易犹豫。说明在植棉决策中存在一定的“惯性”,越是植棉时间短的棉农在其他因素的影响下越有可能不再继续植棉,要稳定新疆棉花生产,必须稳定植棉历史 5 年以上的老植棉户,这些棉农是新疆棉花生产的稳定器,争取植棉历史在 3~5 年的植棉户,这样才能保证新疆棉花产量,实现国家棉花产业安全。

近年来,国家出台了一系列保证棉农利益、稳定棉花生产的政策,这些政策对稳定国内棉花生产,对保证棉花产业安全具有积极作用,但调研中发现还有相当多的棉农对棉花国家政策认知及棉花市场认知不够清楚,从结果也可知对国家棉花政策认知这一因素对棉农植棉决策不具有显著性影响,而事实上,由于国际棉价的大幅波动,国家采取了从临时收储政策到目标价格改革等一系列稳定棉花生产的相关政策,积极引导和宣传各项政策,使棉农真正了解国家棉花政策对稳定新疆棉花生产会产生一定积极作用。由于农业决策相对复杂,决策过程具有一定偶然性,除了本研究中所列个人因素、政策因素、市场因素等因素外,可能还存在其他相关因素,无法全部考虑,因此本研究所列因素可能不够全面,还需今后进一步完善和提高。

参考文献:

[1]毛树春,谭砚文. WTO 与中国棉花十年[M]. 北京:中国农业出版社,2013:38-67.

[2]国家统计局. 中国统计年鉴 2013 年[DB/OL]. (2014-8-8)[2016-05-20]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.

[3]王兆阳. 棉花价格形成研究——模型构建及模拟预测[D]. 北京:中国农业大学,2002.

[4]肖双喜,刘小和. 棉花种植面积影响因素分析——基于新疆、河南、江苏和山东四省的调查[J]. 农业技术经济,2008(4):79-84.

[5]钟甫宁,胡雪梅. 中国棉农棉花播种面积决策的经济学分析[J]. 中国农村经济,2008(6):39-45.

[6]谭砚文,李朝晖. 中美棉花生产者供给行为的比较分析——基于适应性预期模型的实证研究[J]. 华南农业大学学报(社会科学版),2005,4(3):45-52.

[7]张海森. 不同市场协整条件下取消 MFA 对中国棉业经济的影响[D]. 北京:中国农业大学,2005.

[8]赵绪福,王雅鹏. 棉花价格市场化以来的供求波动分析[J]. 北方经济,2004(7):32-33.

[9]朱启荣. 中国棉花主产区生产布局分析[J]. 中国农村经济,2009(4):31-38.

研究与开发,2015,27(9):1558-1563.

[15]王彦志,曾光,张萌,等. 九节菖蒲化学成分研究[J]. 中草药,2014,45(9):1219-1222.

[16]刘香,郭琳,吴春高. 扬子毛茛化学成分研究[J]. 药物分析杂志,2006,26(8):1085-1087.

[17]杜丰玉,李晓明,李春顺,等. 海洋红树林植物黄槿内生真菌 *Aspergillus sydowii* EN-198 化学成分研究[J]. 海洋科学,2012,36(12):6-11.

[18]伍实花,张国刚,左甜甜,等. 射干化学成分分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报,2008,25(10):796-799.

(上接第 316 页)

2007,23(16):2466.

[11]苗智,马养民,孔阳,等. 夹竹桃内生真菌 J14 次生代谢产物的分离和抑菌活性[J]. 贵州农业科学,2016,44(1):88-92,97.

[12]王鹏飞. 黑果枸杞内生真菌 RER4 次生代谢产物的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2014.

[13]穆雪峰,孙丽萍,徐响,等. 枣花蜜中清除 DPPH 自由基的活性成分[J]. 食品科学,2010,31(21):119-122.

[14]陈毓,李锋涛,陶伟伟,等. 蒲黄化学成分研究[J]. 天然产物