

宋胜男, 郜玉钢, 张雪, 等. 人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参生长和皂苷累积的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 155-160.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.035

人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参生长和皂苷累积的影响

宋胜男, 郜玉钢, 张雪, 臧埔, 屈衡, 赵岩, 张连学
(吉林农业大学, 吉林长春 130118)

摘要:采用同时测定 20 种人参皂苷的高效液相色谱(HPLC)法评价人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参皂苷累积的影响,同时测定其对人参生长势和发病率的影响。结果表明,人参内生多黏类芽孢杆菌在喷施次数为 5 次时,人参根中 20 种皂苷含量之和可达 1.549 2%,人参茎叶中 20 种皂苷含量之和可达到 8.754 5%;人参内生多黏类芽孢杆菌喷施 5 次在促进农田人参皂苷含量增加的同时,对总株数、结果率、地上病情指数、地下病情指数、单株茎叶鲜质量、单株根鲜质量变化均具有正向影响,具体为地上病情指数、地下病情指数显著降低,其余生长指数显著提高。表明人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参生长和皂苷累积起着促进作用。

关键词:人参皂苷;生长势;发病率;多黏类芽孢杆菌;HPLC;皂苷积累

中图分类号: S567.5⁺10.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)11-0155-06

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)是五加科人参属植物,通常所说的人参是指其干燥根,人参是百草之王,具有多种药理作用^[1-2],近年来随着人们保健意识的增强和生活水平的提高,人参的需求量不断增加,但由于国家天保工程的实施,严禁伐林栽参,致使园参的栽培数量急剧下降^[3]。由于林下参及园参的价格相对较高,因此农田栽参在人参资源中的比例逐年增加^[4]。如何有效提高农田人参的产品质量及生物利用率成为人们日益关注的焦点^[5]。因此提高人参皂苷含量及产量,有效提高人参的品质,使人参资源得到更加合理的

开发与利用成为重中之重。

人参的主要药效成分为人参皂苷^[6-7],稀有人参皂苷具有良好的药用价值^[8-9],其主要在微生物作用下产生^[10-11],人参中皂苷的种类和含量是评价人参质量的重要指标,本研究所用的人参内生多黏类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)分离获得自人参植株,人参内生多黏类芽孢杆菌不仅在生物防治方面具有很好的应用,而且在促进人参生长和转化人参皂苷方面也有很好的作用,但未见人参内生多黏类芽孢杆菌在提高农田人参皂苷含量方面的应用报道。本研究利用人参内生多黏类芽孢杆菌作用农田人参,旨在增加人参的皂苷含量,促进人参生长,提高人参质量,进而提升人参的药用价值,为人参资源的可持续开发利用提供科学依据。

收稿日期:2018-03-08

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFC0500300);吉林省科技厅项目(编号:20160307005YY_20170204017YY)。

作者简介:宋胜男(1992—),女,吉林公主岭人,硕士研究生,研究方向为生药学。E-mail:18004400759@163.com。

通信作者:郜玉钢,博士,教授,博士生导师,研究方向为生药学。E-mail:gaoyugang-2006@163.com。

S-transferases[J]. *Methods in Enzymology*, 1981, 77: 398-405.

[10] Hansen L G, Hodgson E. Metabolism of naphthalene and 1-naphthol by enzyme preparations from the housefly, *Musca domestica* [J]. 1971, 1(3/4): 464-471.

[11] van Asperen K. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method[J]. *Journal of Insect Physiology*, 1962, 8(4): 401-416.

[12] Gorun V, Proinov I, Băltescu V, et al. Modified Ellman procedure for assay of cholinesterases in crude enzymatic preparations [J]. *Analytical Biochemistry*, 1978, 86(1): 324-326.

[13] 高微微, 佟建明, 郭顺星. 植物次生代谢产物的生态学功能研究进展[J]. *中国药理学杂志*, 2006, 41(13): 961-964.

[14] Govindachari T R, Suresh G, Banumathy B, et al. Antifungal activity of some B, D-seco limonoids from two Meliaceae plants [J]. *J Chem Ecol*, 1999, 25(4): 923-933.

[15] 凌冰, 张茂新, 王玉赞. 葫芦素的生态功能及其应用前景[J]. *生态学报*, 2010, 30(3): 780-793.

[16] 谷文祥, 段舜山, 骆世明. 萜类化合物的生态特性及其对植物的化感作用[J]. *华南农业大学学报*, 1998, 19(4): 108-112.

[17] 彭少麟, 南鹏. 高等植物中的萜类化合物及其在生态系统中的作用[J]. *生态学杂志*, 2002, 21(3): 33-38.

[18] 张云峰, 魏东, 邓雁如, 等. 三萜皂苷的生物活性研究新进展[J]. *中成药*, 2006, 28(9): 1349-1353.

[19] 张文吉, 张友军, 韩嘉莱. 棉铃虫不同龄期幼虫羧酸酯酶、谷胱甘肽转移酶、乙酰胆碱酯酶研究[J]. *植物保护学报*, 1996, 23(2): 157-162.

[20] 唐培安, 邓永学, 王进军. 甲酸乙酯对米象乙酰胆碱酯酶和羧酸酯酶的影响[J]. *植物保护*, 2007, 33(1): 44-47.

[21] 陈晓勤. 植物提取物对蔬菜夜蛾的生物活性及机理研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2006.

Rg₃、Rg₅、Rf、F₁、F₂、Rc、Rd、Rb₁、Rb₂、Rb₃、Rh₂、Compound K、20(R) - Rh₁、Rk₃、Rh₄、原人参三醇及原人参二醇质量分数均在98%以上,批号分别为201511、201523、201545、201506、201524、201537、201549、201521、201536、201579、201501、201551、201518、201543、201520、201515、201562、201571、201519、201513(吉林大学天然药物化学实验室);人参内生多黏类芽孢杆菌来自笔者所在实验室,在中国微生物菌种保藏管理委员会普通生物中心保存,保藏编号为CGMCC:No.7052;乙腈、甲醇(色谱纯,美国Fisher Scientific公司);纯净水(杭州娃哈哈集团有限公司);其他试剂均为国产分析纯。

1.1.2 试验器材 LC-2010A 高效液相色谱仪、AUY220 电子分析天平(岛津公司);KQ-250DV 超声波清洗器(昆山舒美超声仪器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 田间背景 试验在吉林省白山市靖宇县进行,选取三年生人参地,每个小区3 m²,每个处理4次重复,设空白对照小区,随机排列,具体见表1。在人参展叶期后,对每个小区每次喷施150 mL浓度为10⁶ CFU/mL的多黏类芽孢杆菌,用喷雾器喷洒叶面和土壤,保证多黏类芽孢杆菌均匀分布在人参叶面上,于秋季采集样品,每个小区采集10株人参茎叶及其根。

表1 田间试验小区分布

组别	小区编号			
A	3	8	12	15
B	10	16	17	18
C	11	14	19	23
D	1	9	20	21
E	2	7	13	24
F	4	5	6	22

注:A喷施5次菌剂;B喷施4次菌剂;C喷施3次菌剂;D喷施2次菌剂;E喷施1次菌剂;F喷施0次菌剂。下表同。

1.2.2 人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参生长势的影响 精密测量采回样品的总株数、单株根鲜质量、单株茎叶鲜质

表2 多黏类芽孢杆菌对人参生长势的影响

处理	总株数 (株/小区)	结果率 (%)	地上病情指数	地下病情指数	单株茎叶鲜质量 (g)	单株根鲜质量 (g)
F	231 ± 2.582 0a	90.46 ± 0.53a	0.060 7 ± 0.001 4d	0.135 2 ± 0.001 5d	6.023 9 ± 0.035 8a	9.972 9 ± 0.215 5a
E	234 ± 5.228 1a	91.72 ± 0.99a	0.059 3 ± 0.000 8d	0.126 8 ± 0.003 6c	6.518 6 ± 0.174 8b	11.306 3 ± 0.216 4b
D	267 ± 5.291 5b	92.48 ± 2.40ab	0.050 9 ± 0.001 3c	0.124 5 ± 0.001 6c	6.798 9 ± 0.219 3c	11.815 0 ± 0.322 5c
C	274 ± 5.196 2b	93.00 ± 1.83ab	0.046 4 ± 0.000 6b	0.120 0 ± 0.001 8b	7.231 7 ± 0.186 9d	12.194 7 ± 0.091 0de
B	301 ± 6.191 4c	94.75 ± 1.71b	0.042 5 ± 0.000 8a	0.113 4 ± 0.002 8a	7.592 6 ± 0.030 5e	12.629 5 ± 0.051 7e
A	308 ± 6.403 1c	95.00 ± 2.16b	0.041 2 ± 0.000 9a	0.111 4 ± 0.003 0a	8.281 6 ± 0.182 5f	13.117 0 ± 0.424 3f

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。表4、表5同。

2.2 人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参皂苷含量的影响

2.2.1 色谱峰归属 由图1可知,20种人参皂苷单体分离良好。

2.2.2 线性关系考察 以进样标准品中人参皂苷质量(y)对峰面积积分值(x)作图,计算线性回归方程。由表3可知,20种人参皂苷单体 Rg₁、Re、Rf、Rb₁、Rg₂、Rc、20(R) - Rh₁、Rb₂、Rb₃、F₁、Rd、Rk₃、F₂、Rh₄、Rg₃、原人参三醇、Compound K、Rg₅、Rh₂、原人参二醇在1.96 ~ 20.80 μg 范围内与峰面积积分值呈良好的线性关系($r > 0.999, n = 6$)。

量等指标;计算地上病情指数、结果率、地下病情指数。

1.2.3 人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参皂苷含量的影响

1.2.3.1 样品溶液的制备 精确称取各组人参根及茎叶粉末0.5 g,分别置于10 mL离心管中,逐一加入色谱甲醇溶液5.0 mL,密封称质量,超声提取45 min,静置过夜,补足质量,再次超声提取45 min,5 000 r/min离心15 min,取上清液过0.45 μm滤膜,备用。

1.2.3.2 测定20种人参皂苷含量 以笔者所在实验室建立的高效液相色谱(HPLC)条件同时测定20种人参皂苷的含量^[12]。即色谱柱为C₁₈柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm);柱温为35 ℃,检测波长为203 nm,流动相乙腈(A) - 水(B)梯度洗脱(0 ~ 40.00 min, 18.00% ~ 21.00% A; 40.00 ~ 42.00 min, 21.00% ~ 26.00% A; 42.00 ~ 46.00 min, 26.00% ~ 32.00% A; 46.00 ~ 66.00 min, 32.00% ~ 33.80% A; 66.00 ~ 71.00 min, 33.80% ~ 38.00% A; 71.00 ~ 77.70 min, 38.00% ~ 49.08% A; 77.70 ~ 78.00 min, 49.08% ~ 49.10% A; 78.00 ~ 82.00 min, 49.10% A; 82.00 ~ 83.00 min, 49.10% ~ 50.60% A; 83.00 ~ 88.00 min, 50.60% ~ 59.60% A; 88.00 ~ 89.80 min, 59.60% ~ 64.96% A; 89.80 ~ 92.00 min, 64.96% ~ 65.00% A; 92.00 ~ 97.00 min, 65.00% A; 97.00 ~ 102.00 min, 65.00% ~ 85.00% A; 102.00 ~ 109.00 min, 85.00% A; 109.00 ~ 111.00 min, 85.00% ~ 18.00% A);流速为1.0 mL/min,进样量为20 μL。

2 结果与分析

2.1 人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参生长势的影响

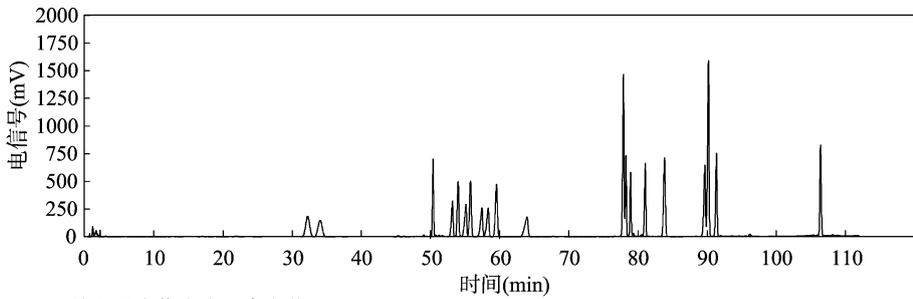
由表2可知,人参内生多黏类芽孢杆菌对田间栽培人参的生长势整体产生正向影响,其中人参内生多黏类芽孢杆菌喷施5次时效果最好,具体为总株数308株/小区、结果率95.00%、地上病情指数为0.041 2、地下病情指数为0.111 4、单株茎叶鲜质量为8.281 6 g、单株根鲜质量为13.117 0 g。

2.3 人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参皂苷含量的影响

由图2、图3、表4、表5可知,人参内生多黏类芽孢杆菌对农田人参生长势呈正向影响的同时,对人参根、茎叶的皂苷含量整体具有促进作用,在喷施5次时20种人参皂苷含量之和最高,人参根中20种皂苷含量之和可达1.549 2%,人参茎叶中20种皂苷含量之和可达到8.754 5%。

3 讨论

人参内生多黏类芽孢杆菌是由美国食品药品监督管理局

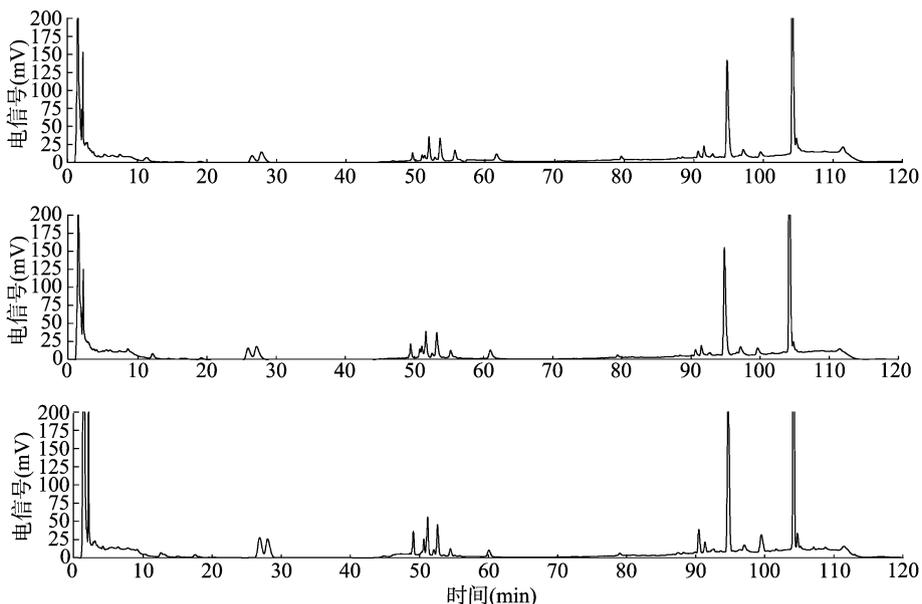


从左至右依次为人参皂苷 Rg₁、Re、Rf、Rb₁、Rg₂、Rc、20(R)—Rh₁、Rb₂、Rb₃、F₁、Rd、Rk₃、F₂、Rh₄、Rg₃、原人参三醇、Compound K、Rg₅、Rh₂、原人参二醇。下图同

图1 混合标准品色谱

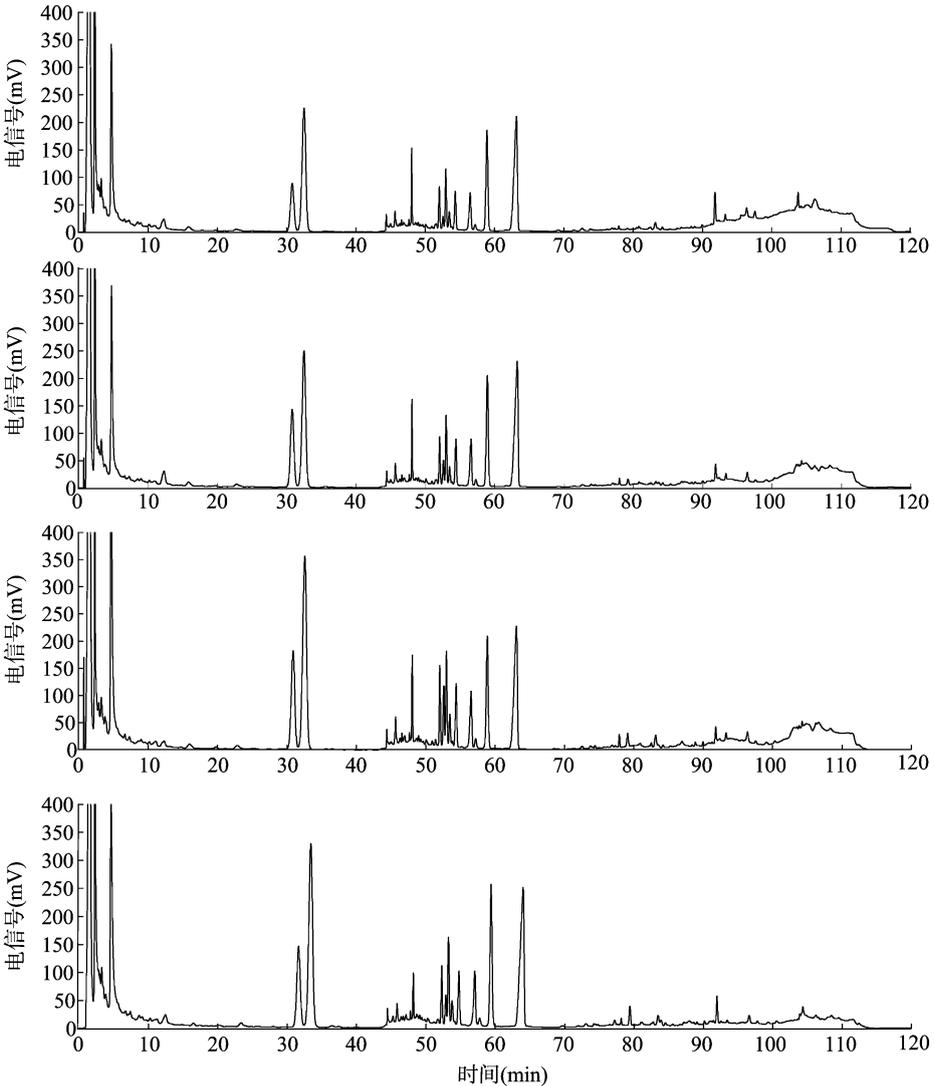
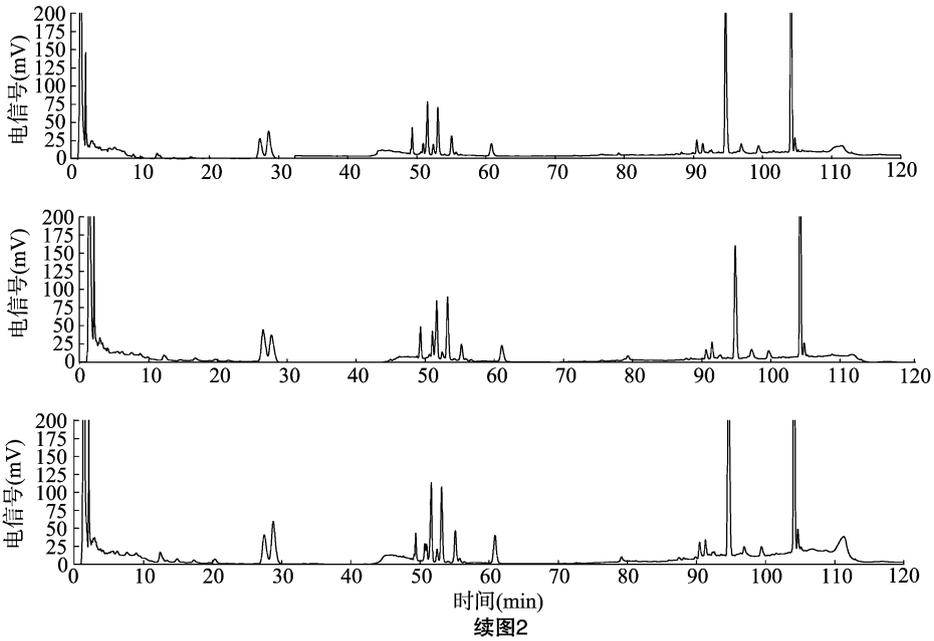
表3 20种人参皂苷的回归方程

人参皂苷	保留时间(min)	回归方程	<i>r</i>	线性范围(μg)
Rg ₁	31.830	$y = 2.584\ 242 \times 10^{-6}x + 5.272\ 472 \times 10^{-3}$	0.999 9	2.08 ~ 20.80
Re	33.624	$y = 3.045\ 859 \times 10^{-6}x - 1.763\ 971 \times 10^{-2}$	0.999 8	2.04 ~ 20.40
Rf	50.345	$y = 2.575\ 101 \times 10^{-6}x - 1.365\ 498 \times 10^{-1}$	0.999 8	2.04 ~ 20.40
Rb ₁	53.156	$y = 3.544\ 513 \times 10^{-6}x - 1.458\ 505 \times 10^{-2}$	0.999 9	2.00 ~ 20.00
Rg ₂	53.976	$y = 2.383\ 191 \times 10^{-6}x - 5.158\ 786 \times 10^{-2}$	0.999 9	1.96 ~ 19.60
Rc	55.106	$y = 3.215\ 851 \times 10^{-6}x + 6.726\ 408 \times 10^{-3}$	0.999 9	2.00 ~ 20.00
20(R) - Rh ₁	55.762	$y = 2.116\ 331 \times 10^{-6}x - 8.732\ 196 \times 10^{-2}$	0.999 9	1.96 ~ 19.60
Rb ₂	57.447	$y = 3.388\ 552 \times 10^{-6}x + 1.825\ 798 \times 10^{-2}$	0.999 9	2.00 ~ 20.00
Rb ₃	58.253	$y = 3.283\ 913 \times 10^{-6}x - 1.511\ 758 \times 10^{-2}$	0.999 8	2.08 ~ 20.80
F ₁	59.503	$y = 2.004\ 556 \times 10^{-6}x - 9.388\ 506 \times 10^{-2}$	0.999 8	2.00 ~ 20.00
Rd	63.818	$y = 3.206\ 608 \times 10^{-6}x + 9.830\ 502 \times 10^{-3}$	0.999 9	2.04 ~ 20.40
Rk ₃	77.859	$y = 1.026\ 160 \times 10^{-6}x - 3.048\ 077 \times 10^{-1}$	0.999 2	2.00 ~ 20.00
F ₂	78.300	$y = 2.554\ 881 \times 10^{-6}x - 1.686\ 846 \times 10^{-1}$	0.999 7	2.00 ~ 20.00
Rh ₄	78.901	$y = 3.246\ 799 \times 10^{-6}x + 9.459\ 274 \times 10^{-3}$	0.999 9	2.00 ~ 20.00
Rg ₃	81.059	$y = 2.356\ 921 \times 10^{-6}x - 1.204\ 710 \times 10^{-1}$	0.999 8	2.00 ~ 20.00
原人参三醇	83.825	$y = 1.526\ 064 \times 10^{-6}x - 1.575\ 577 \times 10^{-1}$	0.999 7	2.04 ~ 20.40
Compound K	89.684	$y = 1.863\ 712 \times 10^{-6}x - 1.068\ 954 \times 10^{-1}$	0.999 8	2.00 ~ 20.00
Rg ₅	90.210	$y = 8.349\ 560 \times 10^{-7}x - 1.477\ 148 \times 10^{-1}$	0.999 7	2.00 ~ 20.00
Rh ₂	91.354	$y = 1.936\ 456 \times 10^{-6}x - 2.287\ 905 \times 10^{-1}$	0.999 7	2.00 ~ 20.00
原人参二醇	106.340	$y = 1.798\ 388 \times 10^{-6}x - 2.089\ 044 \times 10^{-1}$	0.999 6	2.00 ~ 20.00



由上至下依次为 F、E、D、C、B、A 处理人参根中皂苷色谱

图2 不同喷施次数对人参根中皂苷含量的影响



由上至下依次为 F、E、D、C、B、A 处理人参茎叶中皂苷色谱

图3 不同喷施次数对人参茎叶中皂苷含量的影响

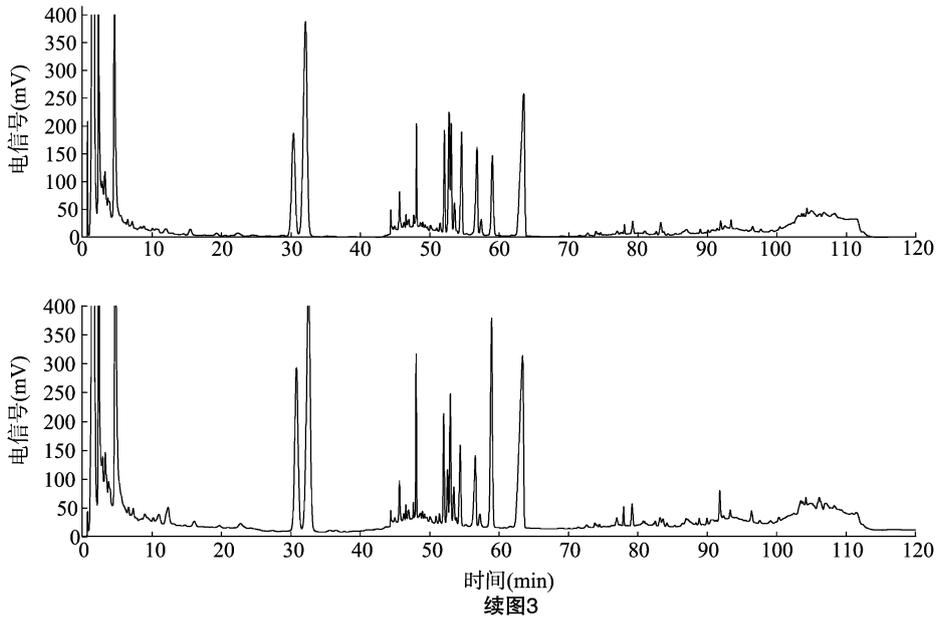


表4 不同喷施次数对人参根中人参皂苷含量的影响

处理	人参皂苷含量(%)						
	Rg ₁	Re	Rf	Rb ₁	Rg ₂	Rc	20(R) - Rh ₁
A	0.183 7 ± 0.005 1c	0.245 8 ± 0.001 4e	0.007 6 ± 0.000 1a	0.301 9 ± 0.013 3d	0.026 5 ± 0.001 1b	0.092 3 ± 0.009 3a	ND
B	0.181 6 ± 0.007 1c	0.243 1 ± 0.005 1de	0.008 9 ± 0.000 5ab	0.295 3 ± 0.011 3d	0.026 4 ± 0.003 8b	0.094 6 ± 0.008 8a	ND
C	0.179 6 ± 0.008 7c	0.238 8 ± 0.002 8d	0.011 6 ± 0.003 6bc	0.289 6 ± 0.011 6d	0.024 3 ± 0.003 5b	0.127 1 ± 0.006 4b	ND
D	0.141 2 ± 0.002 1b	0.200 5 ± 0.006 2c	0.012 1 ± 0.001 2c	0.228 5 ± 0.004 9c	0.022 4 ± 0.004 4b	0.140 7 ± 0.001 4c	ND
E	0.139 3 ± 0.002 1b	0.177 7 ± 0.003 7b	0.020 5 ± 0.000 8d	0.204 2 ± 0.004 2b	0.011 2 ± 0.001 1a	0.150 1 ± 0.001 6c	ND
F	0.126 7 ± 0.003 9a	0.136 9 ± 0.004 9a	0.028 3 ± 0.001 1e	0.101 4 ± 0.003 8a	0.010 7 ± 0.001 0a	0.180 8 ± 0.001 3d	ND

处理	人参皂苷含量(%)						
	Rb ₂	Rb ₃	F ₁	Rd	Rk ₃	F ₂	Rh ₄
A	0.107 9 ± 0.010 8d	0.018 1 ± 0.003 2b	ND	0.146 1 ± 0.003 4e	ND	ND	0.002 2 ± 0.000 2b
B	0.105 4 ± 0.013 8d	0.017 9 ± 0.005 6b	ND	0.144 1 ± 0.005 5e	ND	ND	0.002 3 ± 0.000 1b
C	0.098 2 ± 0.012 5d	0.017 2 ± 0.002 7b	ND	0.127 2 ± 0.008 2d	ND	ND	0.002 2 ± 0.000 1b
D	0.077 0 ± 0.003 6c	0.015 4 ± 0.002 1b	ND	0.082 0 ± 0.001 7c	ND	ND	0.002 1 ± 0.000 6b
E	0.047 4 ± 0.002 9b	0.007 2 ± 0.000 4a	ND	0.055 5 ± 0.003 5b	ND	ND	0.001 8 ± 0.000 3ab
F	0.013 4 ± 0.002 1a	0.006 2 ± 0.000 3a	ND	0.013 5 ± 0.004 4a	ND	ND	0.001 4 ± 0.000 4a

处理	人参皂苷含量(%)						
	Rg ₃	原人参三醇	Compound K	Rg ₅	Rh ₂	原人参二醇	总皂苷
A	0.001 8 ± 0.000 1d	0.005 1 ± 0.000 2d	0.005 3 ± 0.000 3b	0.008 5 ± 0.000 4e	0.014 3 ± 0.001 5d	0.382 1 ± 0.024 6d	1.549 2 ± 0.024 3e
B	0.001 8 ± 0.000 1d	0.005 1 ± 0.000 1d	0.005 4 ± 0.000 2b	0.008 6 ± 0.000 4e	0.016 6 ± 0.000 5e	0.386 1 ± 0.021 7d	1.543 2 ± 0.039 7e
C	0.001 1 ± 0.000 1c	0.004 6 ± 0.000 2c	0.005 3 ± 0.001 8b	0.007 3 ± 0.001 4d	0.010 7 ± 0.002 0c	0.040 6 ± 0.004 1a	1.185 4 ± 0.033 2d
D	0.000 9 ± 0.000 1b	0.003 3 ± 0.000 5b	0.004 7 ± 0.000 2ab	0.004 7 ± 0.000 5c	0.009 4 ± 0.000 7bc	0.061 7 ± 0.002 6a	1.006 6 ± 0.010 5c
E	0.000 5 ± 0.000 1ab	0.001 1 ± 0.000 1ab	0.004 5 ± 0.000 3ab	0.003 1 ± 0.000 6b	0.008 2 ± 0.000 3b	0.090 1 ± 0.001 0b	0.922 4 ± 0.012 6b
F	0.000 3 ± 0.000 1a	0.000 9 ± 0.000 1a	0.003 7 ± 0.000 3a	0.001 6 ± 0.000 1a	0.006 4 ± 0.000 3a	0.237 3 ± 0.020 7c	0.869 5 ± 0.029 2a

注:ND表示未检出。下同。

(FDA)批准的可用于食品的有益菌,也是我国免于安全性检查的益生菌,该菌表现了良好的生防前景,因此其应用开发逐年增多^[13-15]。人参具有抗疲劳、抗氧化、增强免疫力、抗肿瘤及促进代谢等多种药理活性,评价人参质量的重要指标为人参皂苷种类和含量^[16-19]。笔者所在实验室已得出人参内生多黏类芽孢杆菌可显著提高人参皂苷含量的结论^[20-22],但未见利用人参内生多黏类芽孢杆菌转化农田人参皂苷的方法报道。本研究以人参内生多黏类芽孢杆菌菌剂对农田人参进行

喷施,结果表明,其对人参根、茎叶的皂苷含量均有促进作用,在喷施5次时人参根、茎叶中20种人参皂苷含量加和值最高,分别为1.549 2%、8.754 5%;人参内生多黏类芽孢杆菌在促进农田人参皂苷含量增加的同时,对总株数、结果率、地上病情指数、地下病情指数、单株根鲜质量、单株茎叶鲜质量均整体具有正向作用。因此人参内生多黏类芽孢杆菌可在实际中用于提高人参皂苷含量及增加人参产量,具有一定的开发潜力和应用前景。

表5 不同喷施次数对人参茎叶中人参皂苷含量的影响

处理	人参皂苷含量(%)						
	Rg ₁	Re	Rf	Rb ₁	Rg ₂	Rc	20(R) - Rh ₁
A	1.754 3 ± 0.111 8c	2.701 3 ± 0.040 5c	0.015 8 ± 0.005 3a	0.466 7 ± 0.015 9d	0.156 7 ± 0.017 1c	0.345 2 ± 0.029 7a	0.273 1 ± 0.015 0b
B	1.752 6 ± 0.089 8c	2.699 0 ± 0.164 9c	0.014 9 ± 0.004 3a	0.462 0 ± 0.016 9d	0.145 6 ± 0.013 7bc	0.354 0 ± 0.019 8a	0.273 2 ± 0.014 6b
C	1.674 4 ± 0.189 7c	2.583 4 ± 0.203 7c	0.019 2 ± 0.002 7a	0.438 9 ± 0.046 4cd	0.134 8 ± 0.006 8b	0.408 3 ± 0.015 0b	0.268 5 ± 0.022 2b
D	1.361 5 ± 0.199 7b	2.321 4 ± 0.151 8b	0.021 4 ± 0.004 0a	0.412 1 ± 0.042 8c	0.106 6 ± 0.018 8a	0.418 9 ± 0.004 4bc	0.257 1 ± 0.023 1b
E	1.222 4 ± 0.005 4b	2.214 8 ± 0.223 0b	0.030 5 ± 0.006 3b	0.320 4 ± 0.021 4b	0.095 3 ± 0.007 7a	0.441 2 ± 0.016 2c	0.253 4 ± 0.009 7b
F	0.909 3 ± 0.019 1a	1.806 9 ± 0.098 4a	0.046 1 ± 0.006 2c	0.210 3 ± 0.019 5a	0.090 5 ± 0.006 6a	0.441 4 ± 0.012 9c	0.222 4 ± 0.013 8a

处理	人参皂苷含量(%)						
	Rb ₂	Rb ₃	F ₁	Rd	Rk ₃	F ₂	Rh ₄
A	0.483 1 ± 0.008 7b	0.079 3 ± 0.006 4b	0.516 1 ± 0.010 9d	1.680 7 ± 0.029 9e	ND	0.001 7 ± 0.000 2a	0.023 5 ± 0.002 9c
B	0.482 5 ± 0.015 2b	0.078 8 ± 0.009 3b	0.514 5 ± 0.010 8d	1.684 5 ± 0.093 6e	ND	0.001 7 ± 0.000 5a	0.023 0 ± 0.006 3c
C	0.473 2 ± 0.028 5b	0.076 2 ± 0.011 1b	0.497 3 ± 0.012 1d	1.501 6 ± 0.175 2d	ND	0.002 4 ± 0.000 3ab	0.012 3 ± 0.000 3b
D	0.469 0 ± 0.026 7b	0.071 0 ± 0.005 3b	0.421 3 ± 0.016 3c	1.335 7 ± 0.141 0c	ND	0.003 0 ± 0.000 3bc	0.008 8 ± 0.003 6b
E	0.467 0 ± 0.016 5b	0.064 4 ± 0.011 3ab	0.353 6 ± 0.023 0b	0.793 6 ± 0.038 9b	ND	0.003 3 ± 0.000 5c	0.002 7 ± 0.001 1a
F	0.407 1 ± 0.003 1a	0.055 4 ± 0.010 5a	0.309 7 ± 0.026 4a	0.465 6 ± 0.022 7a	ND	0.004 1 ± 0.000 9d	0.001 9 ± 0.000 5a

处理	人参皂苷含量(%)						
	Rg ₃	原人参三醇	Compound K	Rg ₅	Rh ₂	原人参二醇	总皂苷
A	0.013 3 ± 0.002 1b	0.154 3 ± 0.009 1d	0.005 3 ± 0.000 2b	0.004 3 ± 0.000 3d	0.043 2 ± 0.004 5d	0.036 6 ± 0.007 3a	8.754 5 ± 0.099 0e
B	0.014 3 ± 0.002 1b	0.154 1 ± 0.010 4d	0.005 6 ± 0.000 9b	0.004 5 ± 0.000 3d	0.042 7 ± 0.006 4d	0.037 0 ± 0.002 2a	8.744 5 ± 0.099 2e
C	0.005 1 ± 0.000 3a	0.131 4 ± 0.006 9c	0.005 4 ± 0.000 9b	0.004 0 ± 0.000 9cd	0.017 5 ± 0.002 8c	0.044 6 ± 0.004 3ab	8.298 5 ± 0.326 6d
D	0.004 9 ± 0.001 4a	0.047 0 ± 0.014 9b	0.005 2 ± 0.001 1b	0.003 3 ± 0.000 7bc	0.011 2 ± 0.003 0b	0.049 7 ± 0.006 2bc	7.329 1 ± 0.487 4c
E	0.004 9 ± 0.002 3a	0.038 7 ± 0.014 8ab	0.004 5 ± 0.001 1ab	0.002 5 ± 0.000 4ab	0.005 6 ± 0.003 5ab	0.051 8 ± 0.005 5bc	6.370 6 ± 0.218 9b
F	0.003 1 ± 0.000 8a	0.023 7 ± 0.011 7a	0.003 2 ± 0.001 7a	0.001 9 ± 0.000 7a	0.001 9 ± 0.000 6a	0.057 8 ± 0.009 9c	5.062 3 ± 0.117 7a

参考文献:

- [1] Hong M, Lee Y H, Kim S, et al. Anti-inflammatory and antifatigue effect of Korean Red Ginseng in patients with nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Journal of Ginseng Research*, 2016, 40(3): 203-210.
- [2] Li Y, Luo H B, Shi X Q, et al. PERK signaling of unfolded protein response activated in acute hypobaric hypoxia and effect of ginsenoside Rb₁[J]. *Chinese Herbal Medicines*, 2016, 8(1): 39-43.
- [3] 宋心东, 张国荣, 赵岩. 我国人参种植业现状与发展趋势[J]. *人参研究*, 2013, 25(3): 43-45.
- [4] 李美茹. 中韩人参产业国际竞争力比较分析[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 12-14.
- [5] 芦学峰. 农田栽参最佳采收期研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017: 15-16.
- [6] Vo H T, Cho J Y, Choi Y E, et al. Kinetic study for the optimization of ginsenoside Rg₃ production by heat treatment of ginsenoside Rb₁[J]. *Journal of Ginseng Research*, 2015, 39(4): 304-313.
- [7] Kim J H, Yi Y S, Kim M Y, et al. Role of ginsenosides, the main active components of *Panax ginseng*, in inflammatory responses and diseases[J]. *Journal of Ginseng Research*, 2017, 41(4): 435-443.
- [8] 杨金玲, 高丽丽, 朱平. 人参皂苷生物合成研究进展[J]. *药理学学报*, 2013, 48(2): 170-178.
- [9] Kim H G, Yoo S R, Park H J, et al. Antioxidant effects of *Panax ginseng* C. A. Meyer in healthy subjects: a randomized, placebo-controlled clinical trial[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2011, 49(9): 2229-2235.
- [10] Bahrke M S, Morgan W P, Stegner A. Is ginseng an ergogenic aid? [J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2009, 19(3): 298-322.
- [11] 冯亮, 胡昌江, 余凌英. 人参皂苷 Rg₁ 及其代谢产物的药代动力学研究[J]. *药理学学报*, 2010, 45(5): 636-640.
- [12] 杨艳文, 孟凡双, 郝玉钢, 等. 高效液相色谱法同时测定人参制剂中 20 种人参皂苷方法的建立[J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 131-135.
- [13] 徐匆, 马镫, 李艳芳, 等. 多黏类芽孢杆菌复合生物保鲜剂对桂味荔枝的保鲜效果[J]. *广东农业科学*, 2016, 43(7): 105-109.
- [14] Shintu P V, Jayaram K M. Phosphate solubilising bacteria (*Bacillus polymyxa*) - an effective approach to mitigate drought in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. *Tropical Plant Research*, 2015, 2(1): 17-22.
- [15] 罗远娴, 李淑兰, 刘盼西, 等. 防治植物细菌性和真菌性土传病害及叶部病害的新型、高效微生物杀菌剂——多黏类芽孢杆菌和海洋芽孢杆菌系列产品的创制及产业化[C]//中国植物保护学会 2015 年学术年会, 2015.
- [16] 王琼, 王逸, 韩春勇, 等. 人参皂苷 Rg₁、Rb₁ 及其代谢产物益智作用的研究进展[J]. *中草药*, 2014, 45(13): 1960-1965.
- [17] 姜先刚, 张惠, 王泽玉, 等. 不同产地、年限人参中 8 种皂苷含量的比较[J]. *时珍国医国药*, 2014, 25(11): 2764-2766.
- [18] 崔丽丽, 逢世峰, 王英平, 等. 吉林省不同产地不同年限林下参皂苷含量比较[J]. *吉林农业大学学报*, 2013, 35(4): 427-432.
- [19] 董浩宇, 周莲. 吉林省不同地区人参质量的分类和评估[J]. *兰州文理学院学报(自然科学版)*, 2017, 31(1): 48-50, 81.
- [20] 李学. 内生细菌转化人参皂苷的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013: 33-40.
- [21] 姬庆. 多黏类芽孢杆菌转化人参产物抗肿瘤活性及其机理初探[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016: 35-39.
- [22] 刘群. 人参、西洋参生长及皂苷累积的 3 种影响因素研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015: 23-24.