

一测多评法测定唐古特大黄中蒽醌类成分的含量

王君梅¹, 郭玫^{1,2*}, 王志旺^{1,3}, 曹强¹, 郭亚菲¹, 寇仁博¹, 甘玉伟⁴

(1. 甘肃中医药大学, 甘肃兰州 730000; 2. 甘肃省高校中(藏)药化学与质量研究省级重点实验室, 甘肃兰州 730000; 3. 甘肃省中药药理与毒理学重点实验室, 甘肃兰州 730000; 4. 甘南州科技开发交流中心, 甘肃甘南 747000)

摘要 [目的]建立唐古特大黄中蒽醌类成分的一测多评(QAMS)含量测定方法。[方法]采用 HPLC, 以大黄素为参照物, 建立其与芦荟大黄素、大黄酸、大黄酚、大黄素甲醚的相对校正因子, 分别采用一测多评法和外标法测定唐古特大黄中蒽醌类成分的含量, 并比较 2 种方法测定结果的差异。[结果]一测多评法与外标法测定的唐古特大黄中蒽醌类成分含量的 RSD 均小于 3%, 且 2 种方法之间没有显著性差异。[结论]一测多评法测定唐古特大黄中蒽醌类成分的含量稳定准确, 可有效、快速地评价唐古特大黄的质量, 以提高唐古特大黄的质量。

关键词 唐古特大黄; 一测多评法; 蒽醌类成分; 含量测定; 质量评价

中图分类号 R284 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)11-0169-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.11.044

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Determination of Content of Anthraquinones in *Rheum tanguticum* by Quantitative Analysis of Multi-components by Single-marker
WANG Jun-mei¹, GUO Mei^{1,2}, WANG Zhi-wang^{1,3} et al (1. Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730000; 2. Provincial Key Laboratory of Chinese (Tibetan) Pharmaceutical Chemistry and Quality Research in Universities of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000; 3. Key Laboratory of Pharmacology and Toxicology of Traditional Chinese Medicine of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract [Objective] To establish a method for the determination of anthraquinones in *Rheum tanguticum* by quantitative analysis of multi-components by single-marker (QAMS). [Method] Using HPLC, with emodin as reference, the relative correction factor of aloe-emodin, rhein, chrysophanol and physcione was established, the contents of anthraquinones in *Rheum tanguticum* were calculated by QAMS and external standard method (ESM), and compared the differences of results between the two methods. [Result] The RSD values of effective components of *Rheum tanguticum* determined by QAMS and ESM were both less than 3%, indicating that there was no significant difference between the two methods. [Conclusion] The content of anthraquinones in *Rheum tanguticum* was determined by QAMS, which was stable and accurate, and could be used to evaluate the quality of *Rheum tanguticum* effectively and quickly, so as to improve the quality of *Rheum tanguticum*.

Key words *Rheum tanguticum*; Quantitative analysis of multi-components by single-marker (QAMS); Anthraquinones; Content determination; Quality evaluation

大黄为蓼科植物掌叶大黄(*Rheum palmatum* L.)、唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)或药用大黄(*Rheum officinale* Baill.)的干燥根和根茎^[1], 主要含有蒽醌、蒽酮、鞣质等药效成分^[2-3], 具有调节胃肠道、抗菌、抗炎止血等药理作用^[4-6], 与临床疗效密切相关, 是评价大黄质量的指标性成分。在一定程度上, 一测多评法(quantitative analysis of multi-components by single-marker, QAMS)可以减少中药质量控制的检测时间和分析成本, 具有较高的实用性和可行性, 因此被认为是中药及其制剂质量控制的一个很好的选择^[7-9]。因此, 该试验采用一测多评法测定唐古特大黄中蒽醌类成分的含量, 表征唐古特大黄主要药效成分的内在比例关系^[10], 并以化学性质相对稳定且廉价易得的大黄素作为内参物计算相对校正因子, 通过测定一个成分实现多个成分的同步测定, 为唐古特大黄产地加工提供简单的质量判断依据和数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 仪器。Agilent1260 型高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司); DFT-200A 型手提式高速粉碎机(温岭市林大机械有限公司); KQ-700DE 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); ME204E 型电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)。

1.1.2 试剂。芦荟大黄素(批号 531B024)、大黄酸(批号 109C021)、大黄素(批号 1205A0210)、大黄酚(批号 523D025)、大黄素甲醚(批号 718C023)均购自中国食品药品鉴定研究院; 甲醇(天津市富宇精细化工有限公司); 磷酸(天津市科密欧化学试剂有限公司); 碳酸氢钠(烟台市双双化工有限公司); 三氯甲烷[利安隆博华(天津)医药化学有限公司]; 蒸馏水(实验室自制)。

1.1.3 试材。18 批唐古特大黄样品, 采自甘肃省甘南藏族自治州合作市和青海省, 经甘南州科技开发交流中心甘玉伟农业技术推广研究员鉴定为蓼科植物唐古特大黄(*Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf.)的根茎, 样品来源信息见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 色谱条件。色谱柱为 Agilent TC-C₁₈(2)柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相为甲醇(A)-0.1%磷酸水溶液(B)。0~15 min, 85%A; 体积流量 1 mL/min; 柱温 30 ℃; 检测波长

基金项目 甘肃省中央引导地方科技发展专项项目“唐古特大黄种植技术示范推广及产业化”; 甘肃省教育厅双一流重大科研项目(GSSYLXM-05); 甘肃中医药大学研究生创新基金项目(2021CX45)。

作者简介 王君梅(1996—), 女, 甘肃金昌人, 硕士研究生, 研究方向: 中药药效物质基础与质量标准。* 通信作者, 教授, 硕士, 博士生导师, 从事中药药效物质基础与质量标准研究。

收稿日期 2021-09-12

254 nm;进样量 10 μL 。

表 1 唐古特大黄样品来源信息

Table 1 Source information of Tanggut rhubarb samples

序号 No.	样品名称 Sample name	批号 Batch No.	采样产地 Sampling origin	采样时间 Sampling time	加工方式 Processing method
1	统片	Y201904002	合作市	2019 年春	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
2	统片	Y201910001	合作市	2019 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
3	苏吉	Y201810004	合作市	2018 年秋	采挖→除杂→切块→干燥→撞皮→净选→包装
4	头片	Y201810001	合作市	2018 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
5	大黄头片	Y201810003	合作市	2018 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
6	大黄片 2.5 以上	Y201804002	合作市	2018 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→分级→包装
7	大黄丁	Y201704006	合作市	2017 年秋	采挖→除杂→切丁→干燥→净选→包装
8	剥皮统片	Y201704008	合作市	2017 年秋	采挖→除杂→剥皮→切片→干燥→净选→包装
9	大黄片 2.5 以下	Y201910001	合作市夏河县	2019 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→分级→包装
10	统片	Y201910001	合作市临潭县	2019 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
11	统片	Y201910003	青海省	2019 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
12	野生统片	Y201910004	青海省	2019 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
13	大黄片 2.5 以上	Y201810001	青海省	2018 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→分级→包装
14	大黄片 2.5 以下	Y201810002	青海省	2018 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→分级→包装
15	统片	Y201910001	青海省湟中县	2019 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
16	统片	Y201810002	青海省湟中县	2018 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
17	统片	Y201810010	青海省大同县	2018 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装
18	斜片	Y201810014	青海省贵德县	2017 年秋	采挖→除杂→切片→干燥→净选→包装

1.2.2 对照品的制备。依次精密称取芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚适量,配制浓度依次为 15.60、15.60、15.60、16.00、8.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的对照品溶液。

1.2.3 供试品的制备。参照《中华人民共和国药典》2020 年版制备方法。

1.2.4 方法学考察。

1.2.4.1 标准曲线的绘制。分别精密吸取混合对照品 1、2、3、4、5 mL 于 5 mL 容量瓶中,加溶剂至刻度线,按“1.2.1”色谱条件进行测定,以质量为横坐标、峰面积为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.4.2 精密度试验。分别吸取混合对照品溶液 10 μL ,按“1.2.1”色谱条件,连续进样 6 次,测定峰面积,并计算芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的 RSD 值。

1.2.4.3 稳定性试验。分别取供试品溶液(10 号样),按“1.2.1”色谱条件分别于 0、2、4、8、12、24 h 测定峰面积,计算芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的 RSD 值。

1.2.4.4 重复性试验。取 10 号样 6 份,按“1.2.3”方法分别制备成供试品溶液,按“1.2.1”色谱条件,测定含量,并计算芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的 RSD 值。

1.2.4.5 加样回收率试验。精密称取 10 号样 6 份,分别精密加入各对照品等量,按“1.2.3”方法分别制备成供试品溶液,按“1.2.1”色谱条件,测定峰面积,并计算芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的平均回收率和

RSD 值。

1.2.5 相对校正因子的确定。以化学性质相对稳定且廉价易得的大黄素作为内参物计算相对校正因子(f)。计算公式如下:

$$f = \frac{f_k}{f_s} = \frac{C_s A_k}{C_k A_s}$$

式中, C_s 为内参物质量浓度, A_s 为内参物色谱峰面积, C_k 为待测成分质量浓度, A_k 为待测成分色谱峰面积。

1.2.6 相对校正因子的系统耐用性评价。采用 Agilent1260 型高效液相色谱仪分别考察不同色谱柱[Agilent TC-C₁₈(2)、Agilent Poroshell 120 EC-C₁₈(2)、Thermo Hypersil-keystone ODS-2](250 mm×4.6 mm,5 μm)、进样量(5、10、15、20、25 μL)、流速(0.8、0.9、1.0、1.1、1.2 mL/min)、柱温(25、30、35、40、45 $^{\circ}\text{C}$)对芦荟大黄素、大黄酸、大黄酚、大黄素甲醚相对校正因子(f)的影响,并计算 RSD 值。

1.2.7 样品的含量测定。取 18 批不同产地的唐古特大黄,按“1.2.3”方法配制成供试品溶液各 3 份,按“1.2.1”色谱条件对样品进行含量测定,通过标准曲线计算不同产地唐古特大黄中蒽醌类成分的含量。

2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制 按“1.2.4.1”方法操作,结果发现(表 2),芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚 5 种成分在相应范围内均呈良好的线性关系($R^2 \geq 0.9998$)。

表 2 线性关系考察结果

Table 2 The results of the linear relationship investigation

成分 Ingredient	回归方程 Regression equation	R^2	线性范围 Linear range/ μg
芦荟大黄素 Aloe-emodin	$y = 3\,359.60x - 10.413\,0$	0.9998	0.078 0~0.468 0
大黄酸 Rhein	$y = 3\,592.60x - 8.606\,7$	1.000 0	0.078 0~0.468 0
大黄素 Emodin	$y = 1\,670.20x - 9.740\,0$	0.999 9	0.078 8~0.472 8
大黄酚 Chrysophanol	$y = 3\,814.50x - 5.240\,0$	1.000 0	0.080 4~0.482 4
大黄素甲醚 Physcione	$y = 3\,255.80x - 18.353$	0.999 9	0.042 8~0.256 8

2.2 精密度试验 按“1.2.4.2”方法操作,计算得到芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的 RSD 分别为 0.93%、0.14%、0.80%、0.13%、0.04%,表明仪器精密度良好。

2.3 稳定性试验 按“1.2.4.3”方法操作,计算得到芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的 RSD 分别为 0.08%、0.09%、0.31%、0.14%、0.40%,表明供试品溶液在 24 h 内稳定。

2.4 重复性试验 按“1.2.4.4”方法操作,计算得到芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的 RSD 分别为 1.83%、2.15%、2.77%、2.09%、2.66%,表明该方法重复性良好。

2.5 加样回收率试验 由表 3 可知,芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚的平均回收率分别为 100.18%、100.10%、99.76%、99.93%、99.57%,RSD 分别为 0.62%、0.77%、1.03%、0.91%、1.14%,表明该方法准确度良好。

表 3 加样回收率试验
Table 3 Sample recovery test

成分 Ingredient	称样量 Weighed sample amount//g	样品中含 Content in sample//mg	加入对照品 Added amount of reference substance//mg	测得量 Measured amount mg	加样回收率 Recovery rate//%	平均回收率 Average recovery rate//%	RSD %
芦荟大黄素 Aloe-emodin	0.075 2	0.360 2	0.360 0	0.716 6	99.74	100.18	0.62
	0.075 2	0.360 2	0.360 0	0.714 8	99.49		
	0.075 5	0.361 6	0.361 2	0.721 5	100.42		
	0.075 5	0.361 6	0.361 2	0.723 6	100.71		
	0.075 1	0.359 7	0.360 2	0.715 8	99.62		
大黄酸 Rhein	0.075 1	0.359 7	0.360 2	0.711 6	99.04	100.10	0.77
	0.075 2	0.478 3	0.477 9	0.953 8	99.98		
	0.075 2	0.478 3	0.477 9	0.953 6	99.96		
	0.075 5	0.480 2	0.479 6	0.958 7	100.49		
	0.075 5	0.480 2	0.479 6	0.960 7	100.70		
大黄素 Emodin	0.075 1	0.477 6	0.477 2	0.944 3	98.98	99.76	1.03
	0.075 1	0.477 6	0.477 2	0.942 9	98.84		
	0.075 2	0.363 2	0.363 5	0.723 7	99.89		
	0.075 2	0.363 2	0.363 5	0.719 9	99.37		
	0.075 5	0.364 7	0.363 9	0.728 4	100.54		
大黄酚 Chrysophanol	0.075 5	0.364 7	0.363 9	0.729 6	100.70	99.93	0.91
	0.075 1	0.362 7	0.362 5	0.711 1	98.15		
	0.075 1	0.362 7	0.362 5	0.714 6	98.63		
	0.075 2	0.457 2	0.456 9	0.908 9	99.66		
	0.075 2	0.457 2	0.456 9	0.906 9	99.44		
大黄素甲醚 Physcione	0.075 5	0.459 0	0.458 2	0.919 4	100.81	99.57	1.14
	0.075 5	0.459 0	0.458 2	0.919 8	100.86		
	0.075 1	0.456 6	0.456 4	0.902 1	98.91		
	0.075 1	0.456 6	0.456 4	0.900 6	98.75		
	0.075 2	0.130 8	0.129 9	0.257 4	98.62		
	0.075 2	0.130 8	0.129 9	0.260 5	99.81		
	0.075 5	0.131 4	0.131 6	0.262 4	100.54		
	0.075 5	0.131 4	0.131 6	0.264 9	101.49		
	0.075 1	0.130 7	0.129 6	0.258 4	99.00		
	0.075 1	0.130 7	0.129 6	0.257 7	98.74		

2.6 相对校正因子的确定 以大黄素为内参物,计算得出芦荟大黄素、大黄酸、大黄酚、大黄素甲醚的相对校正因子分别为 2.01、1.91、2.33、2.16。

2.7 相对校正因子的系统耐用性评价 采用 Agilent1260 型高效液相色谱仪分别考察不同色谱柱、进样量、流速、柱温对芦荟大黄素、大黄酸、大黄酚、大黄素甲醚相对校正因子的影响,计算得出 RSD 均小于 3%(表 4),表明相对校正因子的系统耐用性良好。

2.8 一测多评法与外标法测定样品中蒽醌类成分含量 按照“1.2.7”方法操作,采用外标法(ESM)和一测多评法(QAMS)测定 18 批不同产地的唐古特大黄中蒽醌类成分的含量,并比较 2 种方法测定结果的差异,结果见表 5。从表 5 可以看出,2 种方法测定的唐古特大黄中蒽醌类成分含量的

RSD 均小于 3%,且 2 种方法之间没有显著性差异,表明 QAMS 法在多成分质量评价应用中是可行的。

表 4 不同进样量、流速、柱温、色谱柱对相对校正因子系统耐用性的影响

Table 4 Effects of different injection volumes, flow rates, column temperatures and chromatographic columns on the robustness of the relative correction factor system %

成分 Ingredient	进样量 Injection volume	流速 Flow rate	柱温 Column temperature	色谱柱 Chromatographic column
芦荟大黄素 Aloe-emodin	1.54	0.22	1.37	0.50
大黄酸 Rhein	1.75	0.29	1.28	0.30
大黄酚 Chrysophanol	1.99	0.19	0.65	0.25
大黄素甲醚 Physcione	2.66	1.78	2.18	1.87

表5 唐古特大黄中蒽醌类成分的含量

Table 5 Contents of anthraquinones in *Rheum tanguticum*

样品 Sample	大黄素 Emodin mg/g	芦荟大黄素 Aloe-emodin			大黄酸 Rhein			大黄酚 Chrysophanol			大黄素甲醚 Physcione		
		ESM mg/g	QAMS mg/g	RSD %	ESM mg/g	QAMS mg/g	RSD %	ESM mg/g	QAMS mg/g	RSD %	ESM mg/g	QAMS mg/g	RSD %
1	2.99	2.57	2.58	0.39	2.73	2.70	0.74	2.76	2.72	1.09	0.91	0.77	2.70
2	4.61	3.21	3.24	0.66	2.76	2.73	0.77	3.22	3.19	0.66	1.28	1.23	2.82
3	4.96	5.21	5.33	1.61	5.48	5.50	0.26	3.80	3.77	0.56	1.55	1.50	2.32
4	5.20	4.11	4.18	1.19	5.50	5.52	0.26	6.09	6.07	0.23	2.70	2.70	0.00
5	5.71	3.17	3.20	0.67	7.03	7.08	0.50	4.62	4.59	0.46	1.30	1.25	2.77
6	6.15	4.69	4.79	1.49	5.92	5.95	0.36	6.34	6.32	0.22	1.81	1.74	2.79
7	4.19	3.70	3.75	0.95	3.90	3.89	0.18	5.32	5.30	0.27	1.81	1.75	2.38
8	4.46	4.20	4.27	1.17	6.74	6.79	0.52	5.38	5.35	0.40	1.46	1.40	2.97
9	4.31	4.46	4.55	1.41	6.33	6.37	0.45	5.63	5.61	0.25	1.92	1.86	2.24
10	4.83	4.79	4.89	1.46	6.36	6.40	0.44	6.08	6.06	0.23	1.74	1.67	2.90
11	2.92	3.16	3.19	0.67	4.15	4.15	0.00	3.23	3.20	0.66	1.59	1.53	2.72
12	3.39	2.88	2.90	0.49	5.42	5.44	0.26	3.57	3.54	0.60	1.06	1.02	2.72
13	3.50	3.31	3.35	0.85	4.57	4.57	0.00	3.67	3.64	0.58	1.11	1.09	2.57
14	3.80	2.96	2.98	0.48	3.95	3.94	0.18	3.45	3.42	0.62	1.02	0.98	2.83
15	3.76	2.82	2.79	0.76	4.11	4.09	0.35	3.42	3.39	0.62	1.06	1.02	2.72
16	3.82	3.74	3.80	1.13	5.10	5.12	0.28	4.18	4.15	0.51	0.87	0.84	2.48
17	3.37	2.83	2.85	0.50	4.75	4.76	0.15	3.16	3.13	0.67	1.01	0.97	2.86
18	3.42	2.50	2.51	0.28	4.01	3.91	2.66	3.75	3.72	0.57	1.46	1.40	2.97

3 结论与讨论

大黄是我国的大宗药材,年需求量较大,目前野生大黄资源濒危,栽培技术以及产地加工过程的不规范限制了大黄的产量和质量,因此,建立一种可以在产地对大黄进行快速的质量评价方法尤为重要。

该试验通过一测多评法(QAMS)建立各待测物的相对校正因子,考察了进样量、流速、柱温、色谱柱对相对校正因子的影响,同时采用一测多评法和外标法测定唐古特大黄中蒽醌类成分的含量,并比较了2种方法测定结果的差异,结果显示,2种方法测定的唐古特大黄中蒽醌类成分含量的RSD均小于3%,且2种方法之间没有显著性差异,表明QAMS法在多成分质量评价应用中是可行的,对唐古特大黄质量控制提供了试验数据支撑,也为产地加工过程中唐古特大黄质量快速综合评价提供了新方法。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:2020年版一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020:24.

- [2] 金丽霞,金丽军,栾仲秋,等. 大黄的化学成分和药理研究进展[J]. 中医药信息,2020,37(1):121-126.
- [3] 王玉,杨雪,夏鹏飞,等. 大黄化学成分、药理作用研究进展及质量标志物的预测分析[J]. 中草药,2019,50(19):4821-4837.
- [4] 苗培福. 大黄的药理作用及临床应用分析[J]. 中国中医药现代远程教育,2019,17(20):61-62.
- [5] 杜怡雯,冯江毅,胡黎文,等. 大黄的药理活性研究及临床应用[J]. 中医临床研究,2018,10(25):24-27.
- [6] 田新玮,郑琦丽,王静,等. 大黄素对类风湿关节炎模型大鼠的治疗作用及抗炎机制研究[J]. 江苏中医药,2020,52(10):84-87.
- [7] GAO D, LI Y M, WANG N, et al. Establishment and validation of quantitative analysis of multi-components by a single marker for quality control of polygoni multiflori radix[J]. Anal Methods, 2016, 8: 7170-7176.
- [8] LI F, WU H, SUN L L, et al. Quantitative analysis of multi-components by single marker and fingerprint analysis of *Achyranthes bidentata* Blume[J]. J Chromatogr Sci, 2018, 56(7):595-603.
- [9] LI Y H, ZHANG Y M, ZHANG Z J, et al. Quality evaluation of *Gastrodia elata* tubers based on HPLC fingerprint analyses and quantitative analysis of multi-components by single marker[J]. Molecules, 2019, 24(8):1-16.
- [10] FENG Y M, LI Q, YANG L, et al. Simultaneous determination of osthol, columbianadin, and isomerperatorin in *Angelicae pubescentis* Radix by high-performance liquid chromatography (HPLC) using a quantitative analysis of multi-components by single marker (QAMS) calibration method[J]. Instrum Sci Techno, 2020, 48(5):550-560.

(上接第144页)

- [7] 陈建. 广东省冬作马铃薯主产区典型种植户肥料资源调查与分析[D]. 广州:华南农业大学,2018.
- [8] 尹孝萍. 缓释氮肥对垄作全膜覆盖马铃薯干物质及产量的影响[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2015, 33(2):12-16.
- [9] 官利兰,陈锐浩,刘小锋,等. 黑膜覆盖下两种复合肥对冬作马铃薯产量和品质的影响[J]. 广东农业科学, 2020, 47(10):67-72.
- [10] 张洋,盛海彦,张荣,等. 缓释复混肥料对马铃薯产量、土壤硝态氮含量及氮肥利用率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(5):122-129.
- [11] 席旭东,姬丽君. 缓控释肥施用对旱作区全膜马铃薯生长及产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(2):92-97.
- [12] 曹先维,徐鹏举,陈洪,等. 2019年广东省马铃薯产业现状、存在问题及发展建议[C]//金黎平,吕文河. 马铃薯产业与美丽乡村(2020). 哈

尔滨:黑龙江科学技术出版社,2020:31-34.

- [13] 鲍士旦. 土壤化学分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 张永成,田丰. 马铃薯试验研究方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [15] TANG Q Y, ZHANG C X. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research[J]. Insect Sci, 2013, 20(2):254-260.
- [16] 岳超,王怀义,滕松,等. 马铃薯施用缓控释肥、生物有机肥肥效试验[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(6):341-345.
- [17] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等. 一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20):3827-3839.
- [18] 周瑞荣,孙锐锋,肖厚军,等. 缓释肥料在马铃薯上的应用效果[J]. 西南农业学报, 2010, 23(5):1763-1765.