

基于综合评分法的不同产地加工方法对瓜蒌药材质量的影响

冯果¹, 曾志乾², 吴增光³, 刘文¹, 李玮¹, 何新³, 郑传奇¹, 陈荧荧¹, 魏芯平¹, 周云飞¹

(1. 贵阳中医学院, 贵州贵阳 550025; 2. 道真自治县大礅镇卫生院, 贵州遵义 563500; 3. 天津中医药大学, 天津 300193)

摘要 [目的] 优选黔产瓜蒌的最佳产地加工方法。[方法] 分别采用阴干、晒干、烘干等不同加工方法对新鲜瓜蒌药材进行加工处理, 以多糖、皂苷、水溶性浸出物、醇溶性浸出物为评价指标, 采用综合评分法优选瓜蒌的最佳产地加工方法。[结果] 瓜蒌不同产地加工方法的综合评分值差异较大, 从大到小依次为 60 ℃ 烘干(0.88)、晒干(0.23)、阴干(0)。[结论] 60 ℃ 烘干为瓜蒌的最佳产地加工方法, 最佳工艺为: 取瓜蒌鲜药材, 除去杂质泥土, 于 60 ℃ 干燥箱中烘干。该方法能较好地控制瓜蒌药材的质量。

关键词 瓜蒌; 产地加工方法; 药材质量; 综合评分法

中图分类号 S282.71 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)29-0120-04

Influences of Different Habitat Processing Method on Quality of *Trichosanthes rosthornii* Harms by Comprehensive Scoring Method

FENG Guo¹, ZENG Zhi-qian², WU Zeng-guang³ et al (1. Guiyang College of Traditional Chinese Medicine, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Hospital of Daqian Town of Daozhen Autonomous County, Zunyi, Guizhou 563500; 3. Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193)

Abstract [Objective] The research aimed to optimize the best habitat processing method of *Trichosanthes rosthornii* Harms. [Method] The fresh *Trichosanthes rosthornii* Harms was processed respectively in different processing methods such as shady drying, sun drying, oven drying, in polysaccharide, saponin, water soluble extractives, ethanol soluble extract as the evaluation index, the best habitat processing method of *Trichosanthes rosthornii* Harms was optimized by the comprehensive scoring method. [Result] The different habitat processing method lead to different values of its comprehensive score for *Trichosanthes rosthornii* Harms, 60 ℃ oven drying(0.88) > sun drying(0.23) > shady drying(0). [Conclusion] 60 ℃ oven drying is the best habitat processing method of *Trichosanthes rosthornii* Harms. The optimum process is as follows: take fresh *Trichosanthes rosthornii* Harms, removing the contaminated soil, drying in the oven at 60 ℃. This method can better control the quality of *Trichosanthes rosthornii* Harms.

Key words *Trichosanthes rosthornii* Harms; Habitat processing method; Material quality; Comprehensive scoring method

瓜蒌为葫芦科植物栝楼(*Trichosanthes kirilowii* Maxim.)

或双边栝楼(*Trichosanthes rosthornii* Harms)的干燥成熟果实, 具有清热涤痰、宽胸散结、润燥滑肠的功效, 用于肺热咳嗽、痰浊黄稠、胸痹心痛、结胸痞满、乳痈、肺痈、肠痈、大便秘结热^[1]。现代研究表明, 瓜蒌主要含糖类、皂苷等有效成分^[2-6], 具有改善心血管系统功能、祛痰止咳、抗菌、抗溃疡、抗肿瘤、泻下及提高耐缺氧能力、降低血清胆固醇等药理活性^[7-11]。产地加工是形成中药品质的重要环节, 不同的加工方法对瓜蒌中主要化学成分的影响不同。现代 2015 年版《中国药典》一部记载瓜蒌的加工方法为“秋季果实成熟时, 连果梗剪下, 置通风处阴干。^[1]”各地尚有阴干法、晒干法、烘干法等加工方法, 因其产地加工方法缺乏统一标准操作指南, 方法各异, 存在一定的盲目性和随意性, 严重影响了瓜蒌饮片的质量, 瓜蒌的产地加工方法亟待进一步的优化和统一。经文献研究, 有关瓜蒌产地加工方法的研究较少且鲜见报道。笔者以瓜蒌药材中的瓜蒌多糖、皂苷的含量以及水溶性浸出物和醇溶性浸出物作为评价指标, 采用综合评分法研究不同产地加工方法对黔产瓜蒌质量的影响, 优选出瓜蒌的最佳产地加工方法, 为瓜蒌的产地加工及质量控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器 TU-1810PC 型紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)、AE/240 型电子天平(上海梅特勒仪器有限公司)、AVY 220 型电子天平(日本岛津)、SK 8210 HP 型超声波清洗机(上海科导仪器有限公司)、干燥箱(上海市仪器总厂)。

1.2 药材与试剂 瓜蒌鲜药材来源于贵州省息烽县鹿窝乡种植基地, 经贵阳中医学院鉴定教研室魏升华教授鉴定为双边栝楼(*Trichosanthes rosthornii* Harms)的果实。D-无水葡萄糖(中国食品药品检定研究院, 批号 110833-201205, ≥98.0%); 齐墩果酸(北京盛世康普化工技术研究院, 批号 141127, 纯度 ≥98%); 其余试剂为分析纯, 水为蒸馏水。

1.3 试验方法

1.3.1 产地加工方法。

1.3.1.1 阴干法。取新鲜全瓜蒌, 将果柄编结成串, 瓜蒂向上置阴凉通风处阴干。

1.3.1.2 晒干法。取新鲜全瓜蒌, 置太阳光下晒干。

1.3.1.3 烘干法。取新鲜全瓜蒌, 分别于 40、50、60、80、90 ℃ 的烘箱内干燥。

1.3.2 样品制备方法

1.3.2.1 瓜蒌皂苷提取。取瓜蒌粉末 1.0 g, 精密称定, 置具塞锥形瓶中, 加入 10 倍量水饱和正丁醇后, 浸泡 12 h, 50 ℃ 下超声提取 40 min, 过滤至 25 mL 容量瓶中, 加水饱和正丁醇溶解并稀释至刻度, 摇匀, 即得供试品溶液。

1.3.2.2 瓜蒌多糖提取。取瓜蒌粉末 1.0 g, 精密称定, 置具塞锥形瓶中, 加入 25 mL 蒸馏水, 80 ℃ 超声提取 3 次, 过滤,

基金项目 贵州省中药现代化科技产业研究开发专项(黔科合中中药字[2013]5049号); 贵州省教育厅产学研基地(黔教合 KY 字[2013]123号); 国家中医药管理局中医药部门公共卫生服务项目([2015]136); 贵州省高校工程技术研究中心建设项目(黔教合 KY 字[2012]021号)。

作者简介 冯果(1977—), 男, 贵州沿河人, 副教授, 博士, 从事中药新制剂新技术及中药药物代谢动力学研究。

收稿日期 2017-08-11

合并滤液浓缩至 10 mL,缓慢加入 4 倍量的无水乙醇,析出絮状沉淀,4 ℃ 静置过夜,抽滤,沉淀依次用无水乙醇、丙酮、乙醚洗涤 3 次,于 40 ℃ 真空干燥至恒重,得瓜蒌粗多糖粉末,精密称取,用水溶解定容,即得供试品溶液。

1.3.3 对照品制备方法。

1.3.3.1 瓜蒌皂苷对照品溶液的制备。精密称取齐墩果酸对照品 5.48 mg 于 25 mL 量瓶中,加甲醇溶解并稀释到刻度,摇匀,即得 0.219 2 mg/mL 齐墩果酸对照品溶液。

1.3.3.2 瓜蒌多糖对照品溶液的制备。精密称取葡萄糖 11.14 mg,置 10 mL 容量瓶中,用水定容至刻度,再精密吸取 1 mL,置 10 mL 量瓶中,得浓度为 0.111 4 mg/mL 的葡萄糖标准溶液。

1.3.4 指标成分含量测定方法。

1.3.4.1 瓜蒌皂苷的样品测定。精密吸取皂苷提取液 0.5 mL,80 ℃ 下挥干溶剂,加入 5% 香草醛-冰醋酸溶液 0.2 mL、高氯酸 0.8 mL,在 60 ℃ 水浴中加热 15 min,立即置冷水中冷却,加入冰醋酸 5.0 mL 摇匀,放置 15 min,于 545 nm 处测定吸光度。

1.3.4.2 瓜蒌多糖的样品测定。精密吸取多糖提取液 0.5 mL,加蒸馏水至 1.0 mL,加入 1 mL 的 5% 苯酚溶液,摇匀,再加浓硫酸 5 mL,摇匀后置沸水浴 10 min,冰水浴冷却至室温,取出,于 487 nm 处测定吸光度。

1.3.5 浸出物含量测定方法。

1.3.5.1 水溶性浸出物测定。按 2015 年版《中国药典》第四部附录 2201 水溶性浸出物测定方法(热浸法)对样品进行测定,计算水溶性浸出物的量。

1.3.5.2 醇溶性浸出物测定。按 2015 年版《中国药典》第四部附录 2201 醇溶性浸出物测定方法(热浸法)对样品进行测定,计算醇溶性浸出物的量。

1.3.6 产地加工方法的优选。采用多指标综合评分法^[12]优选瓜蒌的产地加工方法,以皂苷、多糖的含量以及水溶性浸出物和醇溶性浸出物为评价指标,含量都是越高越好。因此在数据处理时引用综合指标“隶属度”,即指标隶属度 = (指标值 - 指标最小值) / (指标最大值 - 指标最小值);根据各成分在瓜蒌中的重要性,考虑到皂苷和多糖各占 40%、水溶性浸出物和醇溶性浸出物各占 10% 的权重。综合分数 = 多

糖隶属度 × 40% + 皂苷隶属度 × 40% + 水溶性浸出物隶属度 × 10% + 醇溶性浸出物隶属度 × 10%,满分为 1.00,计算各样品的综合评分值。

2 结果与分析

2.1 方法学考察

2.1.1 线性关系考察。精密吸取齐墩果酸对照品溶液 0.1、0.3、0.5、0.7、0.8、1.0 mL,80 ℃ 下挥干溶剂,加入 5% 香草醛-冰醋酸溶液 0.2 mL、高氯酸 0.8 mL,在 60 ℃ 水浴中加热 15 min,立即置冷水中冷却,加入冰醋酸 5.0 mL 摇匀,放置 15 min,以试剂为空白对照,于 545 nm 处测定吸光度,以齐墩果酸浓度(mg/mL)为横坐标、吸光度(A)为纵坐标绘制标准曲线;另外,精密吸取葡萄糖对照品溶液 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mL,分别置于 10 mL 的刻度试管中,分别加入蒸馏水至 1.0 mL,加入 1 mL 的 5% 苯酚溶液,摇匀,再加浓硫酸 5 mL,摇匀后置沸水浴 10 min,置于冰水浴冷却至室温,取出,以相应的试剂为空白对照,于 487 nm 处测定吸光度,以葡萄糖浓度(mg/mL)为横坐标、吸光度(A)为纵坐标绘制标准曲线。结果发现,瓜蒌皂苷和瓜蒌多糖标准曲线回归方程的相关系数(*r*)均大于 0.999,其标准曲线的回归方程、*r* 和线性范围分别见表 1。

2.1.2 精密密度试验。精密吸取“1.3.2”项下供试品溶液,按照“1.3.4”项下的条件进行测定。结果发现(表 1),其 RSD 均小于 3.0%,表明试验的精密密度良好。

2.1.3 重复性试验。取同一处理方法的样品粉末 6 份,按照“1.3.2”方法制备供试品溶液,按照“1.3.4”项下的条件进行测定。结果发现(表 1),其 RSD 均小于 3.0%,表明试验的重复性良好。

2.1.4 稳定性试验。精密吸取“1.3.2”项下同一供试品溶液,按照“1.3.4”项下的条件,分别测定样品在 0、10、20、30、40、60 min 的吸光度。结果发现(表 1),其 RSD 均小于 3.0%,表明各样品在 60 min 内均稳定。

2.1.5 加样回收率试验。称取已知含量的样品 6 份,精密称定,分别精密加入对照品溶液,按照“1.3.2”方法制备供试品溶液,按照“1.3.4”项下的条件进行测定。结果发现(表 1),瓜蒌皂苷和瓜蒌多糖回收率试验的平均回收率分别为 99.67%、99.47%,RSD 均小于 3.0%,表明各样品的回收率较好。

表 1 瓜蒌化学成分含量测定方法学考察结果

Table 1 Methodological study results of chemical composition content determination of *Trichosanthes rosthornii* Harms

化学成分 Chemical composition	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient(<i>r</i>)	线性范围 Linear range μg/mL	精密密度 RSD RSD of Precision %	重复性 RSD RSD of repeatability %	稳定性 RSD RSD of stability %	平均回收率 Average recovery rate//%	回收率 RSD RSD of recovery rate//%
瓜蒌皂苷 Saponin of <i>Trichosanthes rosthornii</i> Harms	$A = 2.1921C + 0.3332$	0.9994	3.33 ~ 36.50	0.39	0.45	0.33	99.67	0.36
瓜蒌多糖 Polysaccharide of <i>Trichosanthes rosthornii</i> Harms	$A = 0.6985C + 0.0392$	0.9996	1.59 ~ 11.14	0.37	0.37	0.46	99.47	0.36

2.2 瓜蒌皂苷含量测定 按照“1.3.1”方法制备不同产地加工方法的样品,按照“1.3.2.1”方法提取瓜蒌皂苷样品溶液、“1.3.4.1”方法测定不同产地加工方法瓜蒌中皂苷的含量,研究不同产地加工方法对其含量的影响。从表2可看出,不同产地加工方法的瓜蒌样品中皂苷含量从大到小依次为50℃烘干、60℃烘干、80℃烘干、40℃烘干、90℃烘干、晒干、阴干。

2.3 瓜蒌多糖含量测定 按照“1.3.1”方法制备不同产地加工方法的样品,按照“1.3.2.2”方法提取瓜蒌多糖样品溶液,“1.3.4.2”方法测定不同产地加工方法瓜蒌中多糖的含量,研究不同产地加工方法对其含量的影响。从表2可看

出,不同产地加工方法的瓜蒌样品中多糖含量从大到小依次为60℃烘干、80℃烘干、50℃烘干、90℃烘干、40℃烘干、晒干、阴干。

2.4 瓜蒌浸出物含量测定 按照“1.3.1”方法制备不同产地加工方法的样品,按照“1.3.5.1”方法提取、测定各样品的水溶性浸出物含量,按照“1.3.5.2”方法提取、测定不同产地加工方法瓜蒌中醇溶性浸出物的含量,研究不同产地加工方法对其浸出物含量的影响。从表2可看出,不同产地加工方法的瓜蒌样品水溶性浸出物和醇溶性浸出物含量的大小顺序一致,从大到小依次均为40℃烘干、50℃烘干、60℃烘干、80℃烘干、晒干、90℃烘干、阴干。

表2 不同产地加工方法对瓜蒌皂苷、多糖、浸出物含量的影响($\bar{x} \pm SD, n=3$)

Table 2 Effect of different habitat processing methods on the content of saponins, polysaccharides and extracts *Trichosanthes rosthornii* Harms

产地加工方法 Habitat processing methods	皂苷 Saponins	多糖 Polysaccharides	水浸出物 Water soluble extract	醇浸出物 Ethanol soluble extract
阴干 Shady drying	0.37 ± 0.14	2.07 ± 0.14	20.66 ± 0.14	23.26 ± 0.14
晒干 Sun drying	0.48 ± 0.13	3.08 ± 0.13	27.81 ± 0.13	30.81 ± 0.13
40℃烘干 40℃ oven drying	0.63 ± 0.14	3.83 ± 0.13	38.34 ± 0.14	42.34 ± 0.14
50℃烘干 50℃ oven drying	0.97 ± 0.22	5.17 ± 0.22	35.67 ± 0.22	38.17 ± 0.22
60℃烘干 60℃ oven drying	0.88 ± 0.18	7.17 ± 0.18	33.76 ± 0.18	36.76 ± 0.17
80℃烘干 80℃ oven drying	0.79 ± 0.38	6.19 ± 0.39	28.89 ± 0.38	33.89 ± 0.38
90℃烘干 90℃ oven drying	0.60 ± 0.23	4.20 ± 0.24	24.98 ± 0.23	28.98 ± 0.23

2.5 综合评分法优选最佳产地加工方法 按“1.3.4”“1.3.5”项下各评价指标的测定方法对各样品的指标成分进行测定,并按“1.3.6”方法计算其综合评分值,结果见表3。从表3可得出,以多糖、皂苷、浸出物综合评价时,阴干法的综合评分值为0;晒干法的综合评分值为0.23;在烘干法中,综合评分值从大到小依次为60℃(0.88)、50℃(0.81)、

80℃(0.71)、40℃(0.51)、90℃(0.37);不同的产地加工方法对瓜蒌的指标成分影响较大,以综合评分值从大到小的顺序排序为烘干(0.88)、晒干(0.23)、阴干(0)。研究结果表明,对瓜蒌采用60℃干燥时,其综合评分值最高(0.88),故瓜蒌的最佳产地加工方法为60℃烘干,最佳工艺为:取瓜蒌鲜药材,除去杂质泥土,于60℃烘箱中烘干。

表3 不同产地加工方法对瓜蒌药材质量的影响($n=3$)

Table 3 Effect of different habitat processing methods on the quality of *Trichosanthes rosthornii* Harms

产地加工方法 Habitat Processing methods	多糖 Polysac- harides//%	多糖隶属度 Polysaccharides membership	皂苷 Saponins %	皂苷隶属度 Saponins membership	水溶性 浸出物 Water soluble extract//%	水溶性浸出 物隶属度 Membership of water soluble extract//%	醇溶性 浸出物 Ethanol soluble extract %	醇溶性浸出 物隶属度 Membership of ethanol soluble extract	综合评 分值 Compre- hensive score
阴干 Shady drying	2.07	0	0.37	0	20.66	0	23.26	0	0
晒干 Sun drying	3.08	0.20	0.48	0.18	27.81	0.40	30.81	0.40	0.23
40℃烘干 40℃ oven drying	3.83	0.35	0.63	0.43	38.34	1.00	42.34	1.00	0.51
50℃烘干 50℃ oven drying	5.17	0.61	0.97	1.00	35.67	0.85	38.17	0.78	0.81
60℃烘干 60℃ oven drying	7.17	1.00	0.88	0.85	33.76	0.74	36.76	0.71	0.88
80℃烘干 80℃ oven drying	6.19	0.81	0.79	0.70	28.89	0.47	33.89	0.56	0.71
90℃烘干 90℃ oven drying	4.20	0.42	0.60	0.38	24.98	0.24	28.98	0.30	0.37

3 结论与讨论

瓜蒌中皂苷类成分容易受生物活性酶的影响;多糖类成分难溶或不溶于水,但容易被水解成低聚糖、单糖。以多糖为指标,最佳产地加工方法为60℃烘干含量最高,不同加工方法中含量从大到小依次为60℃烘干、80℃烘干、50℃烘干、90℃烘干、40℃烘干、晒干、阴干;以皂苷为指标时,最佳

产地加工方法为50℃烘干含量最高,不同加工方法中含量从大到小依次为50℃烘干、60℃烘干、80℃烘干、40℃烘干、90℃烘干、晒干、阴干;以浸出物为指标,最佳的产地加工方法为40℃烘干含量最高,不同加工方法中含量从大到小依次为40℃烘干、50℃烘干、60℃烘干、80℃烘干、晒干、90℃烘干、阴干。结果表明,不同产地加工方法对瓜蒌中的

含量有很大的影响,从而会影响瓜蒌药材质量的稳定性,进一步影响其临床疗效及其品质。故在产地加工过程中,应尽快灭活新鲜瓜蒌中酶的活性,严格控制干燥温度和时间是瓜蒌产地加工的关键技术所在,也是影响瓜蒌质量的主要因素。

2015 年版《中国药典》记载的瓜蒌加工方法为“秋季果实成熟时,连果梗剪下,置通风处阴干”,经对比研究表明,阴干法所得瓜蒌产品中多糖、皂苷以及浸出物的含量并非最高,且在《中国药典》瓜蒌的质量标准中仅有鉴别、检查和浸出物的质量控制方法,目前还没有含量测定项。而多成分、多指标控制中药材质量已成为发展新趋势,是中药现代化发展进程中的必然要求。该研究以瓜蒌中多糖、皂苷、水溶性浸出物和醇溶性浸出物作为评价指标,采用综合评分法对瓜蒌的产地加工方法进行优选,得到瓜蒌的最佳产地加工方法为 60 ℃ 烘干法。所优选出的产地加工方法科学、合理,其加工方法的工艺简单、耗时短、加工出的药材色泽和品质好,综合评分值较高,使瓜蒌的质量从源头上得到了控制。该产地加工方法的优选对企业及药农的规模化、产业化加工瓜蒌药材具有一定的指导意义,为瓜蒌的质量标准的修订及质量控

制的提高提供了参考。

参考文献

- [1] 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,2015:112-113.
 - [2] 滕勇荣,张永清. 瓜蒌化学成分研究进展[J]. 山东中医药大学学报,2011,35(1):85-86.
 - [3] 刘金娜,温春秀,刘铭,等. 瓜蒌的化学成分和药理活性研究进展[J]. 中药材,2013,36(5):843-848.
 - [4] 巢志茂,何波,敖平. 瓜蒌的化学成分研究进展[J]. 国外医学(中医中药分册),1998,20(2):7-10.
 - [5] 王玲娜,于京平,张永清. 栝楼化学成分研究概述[J]. 环球中医药,2014,7(1):72-76.
 - [6] 屠婕红,余菁,陈伟光. 瓜蒌的化学成分和药理作用研究概况[J]. 中国药师,2004,7(7):562-563.
 - [7] 邹纯才,徐启祥,鄂海燕,等. 瓜蒌不同溶剂提取物的抗氧化活性及保护大鼠心肌缺血再灌注损伤的作用[J]. 中国药理学杂志,2017,52(2):124-129.
 - [8] 段文娟,赵伟,李月,等. 瓜蒌不同部位对斑马鱼促血管生成及心脏保护作用[J]. 中成药,2017,39(6):1261-1264.
 - [9] 徐启祥,鄂海燕,阮玲,等. Box - Behnken 响应面优化分光光度法测定瓜蒌总皂苷的显色条件[J]. 国际药学研究杂志,2017,44(1):65-69.
 - [10] 张岫秀,蔡盈,吴中梅,等. 瓜蒌多糖的体内免疫活性研究[J]. 食品研究与开发,2015,36(24):15-17.
 - [11] 吴翠,巢志茂. 瓜蒌质量的过程控制系统[J]. 中国实验方剂学杂志,2016,22(2):230-234.
 - [12] 陈会英,周行平. 综合评分法的改进与应用[J]. 农业系统科学与综合研究,1996,12(1):37-41.
- (上接第 108 页)
- (3) 空间分析计算法的整体精度较差。空间分析法提取精确的前提条件是山脊线与等高线基本平行,这显然与一般的实际地形不符甚至差别很大;还有该算法在提取山脊线时阈值的设置没有公认的可靠标准,存在盲目性和随意性,极易导致山脊线的误判和漏提,故造成计算精度很低,尤其是在以低分辨率 DEM 为源数据时计算结果误差极大,无实际价值,表明该算法在坡长提取方面的应用尚不成熟,亟待改进。
- ## 4.2 讨论
- 首先,受时间等客观条件的制约,试验小区的选择数量偏少。要想得到更为可靠和令人信服结论,按照以往研究的惯例,仅安塞县境内就需要选择试验小区近 100 个。在试验小区数量少的情况下,很难反映出该区域的地域分异规律。其次,由于该研究水平十分有限,仅从已有的 4 种常用算法中选择了 2 种较为简单的进行提取效果的对比,未能开阔思路,发掘出精度和效率更高的、更适合地理学坡长提取的算法。此外,没有系统地分析误差,未能给出造成计算误差的原因,更没有提出减少和校正误差的可行的办法。这些都是很值得进一步研究的内容。最后,算法的精度评价是一个精细而又复杂的过程,尤其对坡长这一原本就有争议的地形要素来说,其精度评价必然存在着很多尚未解决的问题,涉及这些问题的难度远远超出了该研究的实际水平。此外,整个研究中从地形图的数字化到坡长真值的量取,均不可避免地存在误差;设置的评价标准也较为单一。在这样的条件下得出的结论是否真正可靠有待进一步研究。
- ## 参考文献
- [1] WISCHMEIER W H. A rainfall erosion index for a universal soil - loss equation[J]. Soil science society of America journal,1959,23(3):246-249.
 - [2] ONORI F, BONIS P D, GRAUSO S. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy)[J]. Environmental geology,2006,50(8):1129-1140.
 - [3] FOSTER G R, MCCOOL D K, RENARD K G, et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units[J]. Journal of soil & water conservation,1981,36(6):355-359.
 - [4] 刘宝元,谢云,张科利,等. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001.
 - [5] 汤国安,陈正江,赵牡丹,等. Arc View 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京:科学出版社,2002.
 - [6] 汤国安,刘学军,房亮,等. DEM 及数字地形分析中尺度问题研究综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2006,31(12):1059-1066.
 - [7] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006.
 - [8] DESMET P J J, GOVERS G. GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: A comparison of model results with soil map information[J]. Catena,1995,25(1/2/3/4):389-401.
 - [9] KINNELL P I A. The effect of slope length on sediment concentrations associated with side - slope erosion[J]. Soil science society of America journal,2000,64(3):1004-1008.
 - [10] 李俊. 基于 DEM 的黄土高原坡长的自动提取和分析[D]. 西安:西北大学,2007.
 - [11] HOYOS N. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes [J]. Catena,2005,63(1):85-108.
 - [12] DE VENTE J, POESEN J, VERSTRAETEN G, et al. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain [J]. Global and planetary change,2008,60(3/4):393-415.
 - [13] 周贵云,刘瑜,郭伦. 基于数字高程模型的水系提取算法[J]. 地理学与国土研究,2000,16(4):77-81.
 - [14] 蔡强国,刘纪根. 关于我国土壤侵蚀模型研究进展[J]. 地理科学进展,2003,22(3):242-250.
 - [15] 曹龙熹,符素华. 基于 DEM 的坡长计算方法比较分析[J]. 水土保持通报,2007,27(5):58-62.
 - [16] 张启旺,安俊珍,王霞,等. 中国土壤侵蚀相关模型研究进展[J]. 中国水土保持,2014(1):43-46.
 - [17] 杨勤科,赵牡丹,刘咏梅,等. DEM 与区域土壤侵蚀地形因子研究[J]. 地理信息世界,2009,7(1):25-31.