

中药“发汗”炮制法的现代研究进展

陈茹^{1,2}, 陈成^{1,3}, 杨兴鑫¹, 俞捷¹, 赵荣华^{1*}, 顾雯^{1*}

1. 云南中医学院中药学院, 云南 昆明 650500

2. 云南省中医中药研究院, 云南 昆明 650000

3. 云南省第一人民医院, 云南 昆明 650100

摘要:“发汗”炮制法是中药材产地初加工过程中的一种重要方法,其目的是加快药材的干燥,有利于药材的保存。现代研究表明,“发汗”对药材的化学成分、药理活性和药效作用等方面也会产生影响。在“发汗”过程中,药材内部的温度逐渐升高,一系列酶促反应随之发生,药材的化学成分发生转化;随着“发汗”炮制的继续,药材内部的温度不断升高,植物的抗热胁迫反应随之启动,一些次级代谢产物生成,从而提升药材有效成分的含量。对“发汗”炮制过程中生物酶的作用以及植物抗热胁迫反应的研究进展进行综述,以揭示中药“发汗”炮制过程的内在机制,最终为“发汗”炮制法的应用及推广提供理论依据。

关键词: 中药材;“发汗”炮制法;酶促反应;抗热胁迫反应;酶促反应

中图分类号: R282.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2018)02-0489-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2018.02.033

Modern research progress of Chinese materia medica diaphoretic processing method

CHEN Ru^{1,2}, CHEN Cheng^{1,3}, YANG Xing-xin¹, YU Jie¹, ZHAO Rong-hua¹, GU Wen¹

1. College of Pharmaceutical Science, Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650500, China

2. Yunnan Academy of Chinese Medicine, Kunming 650000, China

3. The First People's Hospital of Yunnan Province, Kunming 650100, China

Abstract: Diaphoretic processing is one of the essential methods aiming to speed up the drying herbs and help the preservation of medicinal materials in the initial processing of Chinese materia medica. In addition, modern research showed that diaphoretic processing also affects the chemical components pharmacological activities and pharmacodynamic action of medicinal materials. During the diaphoretic processing, the internal temperature of medicinal materials rose, which increased the enzyme activity and improved the enzyme-catalyzed reaction, and then these lead to the change of chemical components of medicinal materials. With the diaphoretic processing continues, continually elevated internal temperature of medicinal materials started a series anti-heat stress reaction and generated some secondary metabolites, which considered as main effective components of medicinal materials. In this paper, the mechanism of diaphoretic processing was revealed by analysis the biological enzyme action and anti-heat stress reaction, in order to provide a theoretical basis for the application and extension of the diaphoretic processing.

Key words: Chinese materia medica; diaphoretic processing; enzymatic reaction; anti-heat stress reaction; enzyme-catalyzed reaction

“发汗”炮制法是常用的中药产地加工方法之一,即将鲜药材加热或半干燥后,密闭堆积发热,使其内部水分向外蒸发,并凝结成水珠附于药材的表面,尤如人体出汗,故称为“发汗”^[1]。在古代

本草中,产地初加工最早记载于《神农本草经》:“阴干、爆干、采造时日、土熟土地所出。”《千金翼方》也论述道:“夫药所取,不依阴干、爆干,虽有药名,终无药实。”说明药材进行初加工的重要性,有利于

收稿日期: 2017-09-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81660684); 云南省科技计划资助项目(2014FZ083); 南药研究协同创新中心基金资助项目(30270100500)

作者简介: 陈茹(1991—),女,在读博士,研究方向为中药药理及成分分析。Tel: 15096626881 E-mail: 2918549298@qq.com

*通信作者 顾雯(1983—),女,博士,讲师,研究方向为中药生物技术及中药药理。Tel: 13648803294 E-mail: guwen1230@qq.com

赵荣华(1958—),男,教授,硕士生导师,研究方向为中药炮制。Tel: 13888074508 E-mail: kmzhaoronghua@qq.com

保证药材的质量^[2]。只有在近代相关书籍中才能找到中药材“发汗”炮制的相关记载,因此推测“发汗”炮制法是在药材产地初加工的实践中逐渐发展起来的。《中国药典》2010 年版规定玄参、杜仲、茯苓、厚朴、续断等药材采用“发汗”炮制法进行产地加工^[1]。另外,在《中草药初加工技术》中,大黄、川芎、天麻、何首乌、藿香、栀子、石斛等也有采用“发汗”炮制法进行初加工的记载^[3]。在实际生产中,板蓝根、薄荷、黄芪等药材也采用“发汗”法炮制^[4]。

1 中药材的“发汗”炮制工艺

有些根类、根茎类、皮类和全草类药材在采收后初加工过程中要进行“发汗”处理。《中国药典》2010 年版规定“发汗”炮制的具体操作方法为直接堆置“发汗”炮制法,即将中药材直接堆置“发汗”至药材变色,如杜仲、秦艽^[1]。除《中国药典》规定外,在实际生产中常用的“发汗”炮制法还有以下几种。

1.1 反复“发汗”炮制法

药材除去杂质堆置“发汗”后,摊开晾至表面干燥,堆积“发汗”反复几次至药材表面出现皱纹,其内部水分大部分散失后阴干,此方法适用于不易干燥的药材,如玄参、茯苓等^[5]。

1.2 “水汗”炮制法

将药材放入容器内,以水蒸或者置沸水中微煮,至药材蒸软、表面颜色变深时取出,堆置阴湿处(如土坑内),盖上青草“发汗”干燥,如白厚朴^[5]。

1.3 “火汗”炮制法

将药材用微火烘至半干,堆置“发汗”至内部变色时再烘干,如茯苓、川续断、白术、地黄、川芎、天麻、大黄、何首乌等^[6]。

1.4 加辅料“发汗”炮制法

将新鲜的药材放入甑中,以少量花椒、白矾及水蒸煮,待蒸气均匀后取出,堆于青草中“发汗”,如厚朴^[6]。

2 “发汗”炮制法对中药材化学成分及药效的影响

现代研究将焦点集中于分析“发汗”炮制对药材化学成分、药理活性和药效作用等方面产生的影响。刘红亮等^[7]用色差仪和电子鼻测得厚朴“发汗”前后颜色及气味的特征参数,并以数值的形式表述。杜伟锋等^[8]通过分析“发汗”前后的指纹图谱,并加以比较,再通过先进的分析检测手段,确认化合物,进而阐明“发汗”的物质基础;针对药材的主

要药效,开展“发汗”前后药效差异的比较,并通过多维谱效关系寻找发汗物质基础与药效之间的相关性,最终阐明其“发汗”机制。

2.1 “发汗”炮制法对中药材化学成分的影响

中药“发汗”后能增加其活性前体化合物的来源,同时起到减毒增效的作用,使无效化学成分转变为有效化学成分,促进活性成分的吸收,减少中药的生产成本,为中药组分代谢机制研究提供辅助手段,实现将微生物转化技术应用于中药生产的目标。

“发汗”炮制法是厚朴常用的一种产地初加工方法,其中厚朴中的主要成分为厚朴酚与厚朴酮、挥发油等成分,在中医药理论的指导下,主治食积气滞、腹胀便秘、湿阻中焦、脘痞吐泻、痰壅气逆、胸满喘咳^[1]。余盛贤等^[9]采用高效液相色谱(HPLC)与气相色谱-质谱(GC-MS)检测,“发汗”炮制后厚朴酚类成分和挥发油类成分的量均产生变化,与未“发汗”厚朴比较有显著差异,“发汗”炮制后的样品较未处理样品在厚朴酚与厚朴酮量均有明显提高,桉叶醇量下降。韦熹苑等^[10]研究发现“发汗”炮制能提高厚朴中挥发油的量,“发汗”炮制 1 周后厚朴挥发油的量提高将近 1 倍。另外有研究报道表明蒸后或煮后再进行“发汗”炮制的厚朴其酚类成分的量较高,与未“发汗”相比质量更佳,而挥发油的量在“发汗”炮制后有所降低^[11]。采用《中国药典》中浸出物测定法测定后,发现厚朴经“发汗”炮制处理后,浸出物量提升 23%^[12]。以上研究表明“发汗”炮制法能提高厚朴中酚类成分的量,而对挥发油量的影响尚不明确,还需要进一步的研究分析。

另一种主要采用“发汗”炮制法处理的药材为续断。现代研究已明确续断总皂苷可促进成骨细胞分化和形成,有抗骨质疏松,治疗骨折、阿尔茨海默病(AD)和白血病的作用,而川续断皂苷VI是续断中治疗 AD 和白血病的活性物质。续断“发汗”炮制后醇溶性浸出物的量降低 5%,总皂苷的量也降低,川续断皂苷VI的量则升高了 23%^[13]。杜伟锋等^[14]采用 HPLC-ESI/MS 研究发现川续断经“发汗”处理后绿原酸量下降了 2.34%,川续断皂苷VI量升高 4.43%。王初^[15]测得不“发汗”续断中的水溶性浸出物和川续断皂苷VI量较“发汗”续断高,分别提高 0.8%和 2.88%。由此可见,续断“发汗”后川续断皂苷VI量升高,其他成分亦有变化。

另外,丹参经“发汗”后,迷迭香酸的量降低,丹酚酸 B 的量无明显变化,而隐丹参酮和丹参酮II_A

的量显著升高^[16]。另外,传统“发汗”法能提高丹参中丹参酮Ⅱ_A的量^[17]。许腊英等^[18]研究表明茯苓发汗能使茯苓多糖的量升高。不同初加工方法对茯苓中多糖的量有极显著影响,用“发汗”处理后再切制的方法,其多糖的量高于趁鲜切制法,而对三萜类成分则无显著影响^[19]。“发汗”干燥对禹白芷药材中挥发性成分的量有较大的影响,不适于在产地加工中使用^[20]。

2.2 “发汗”炮制法对中药材药效的影响

目前对中药材“发汗”前后化学成分变化的研究远远多于对药理学变化的研究,对于药物毒理方面研究甚少。尹爱武等^[21]研究表明,厚朴“发汗”后改善大鼠胃动力障碍和抗溃疡作用更强,厚朴“发汗”炮制工艺是必要的。金奇等^[13]、杜伟峰等^[14]、王初^[15]发现续断“发汗”后川续断皂苷VI含量升高,相关药效学实验^[22]亦表明川续断皂苷VI具有增加骨密度的作用,与中医临床应用续断“补肝肾,强筋骨,续折断”的主治和功能相吻合,同时亦具有神经及心肌保护作用。王丽楠等^[23]采用HPLC法,以血管紧张素转化酶抑制率为指标,考察了杜仲“发汗”前后其降压作用的变化,发现未“发汗”样品对血管紧张素转化酶的抑制率显著低于“发汗”样品。

2.3 不同“发汗”炮制方法对中药材质量的影响

“发汗”炮制法为一种产地初加工方法,在不同的产地“发汗”炮制法存在着差异。研究证明不同产地采用不同“发汗”方法的玄参中核苷含量差异较大,经反复“发汗”处理后,其有效成分的量显著高于普通堆积“发汗”法^[24]。陈佩东等^[25]发现厚朴经水蒸15 min后,以薄膜代替青草覆盖“发汗”8 d时所含厚朴酚与和厚朴酚的量最高。许腊英等^[18]以茯苓多糖为主要考察目标,在《中国药典》规定的基础上,确定了茯苓的最佳炮制工艺:直接堆积发汗2次,加12倍量水,洗2次,每次洗3 min,蒸20 min,趁热去皮切成大小约为0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm的茯苓丁于60℃烘8 h,其间翻动2次。

3 “发汗”炮制法相关机制探讨

3.1 生物酶的作用

“发汗”炮制的过程中由于药材还处于新鲜的状态,含水量较高,其中的生命活动仍在进行,化学成分间的相互转化等理化变化没有停止。酶是一种具有生物活性的特殊蛋白质,“发汗”能促进生物组织内部酶发挥作用。药材在“发汗”的过程中,组织细胞的呼吸作用使其自身产热,温度升高,为一

系列复杂的酶促、水解、氧化、聚合等生化反应创造了有利条件,从而导致了药材外观性状和内在品质的变化^[3],进而对药材的化学成分、药理活性产生影响。在“发汗”过程中涉及到的常见酶有多酚氧化酶、过氧化物酶、水解酶等。厚朴药材经水法“发汗”后,其中木兰苷A的量较未“发汗”者显著下降,其原因推测与酶的活性有关^[9]。

3.1.1 多酚氧化酶的作用 多酚氧化酶是自然界分布很广的一种酶,在昆虫、植物、真菌等机体中广泛存在,在果蔬以及茶叶加工中对其品质产生重要的影响^[26]。多酚氧化酶是使药材在“发汗”炮制中发生色泽和药效的变化的重要酶之一。

多酚氧化酶存在于植物细胞中,在细胞质内形成,通过一定的方式转运至质体内而成为活性形式。细胞中,多酚氧化酶与底物通常存在于不同的区域,多酚氧化酶在质体中以潜伏状态存在,其作用底物存在于液泡中。然而中药材在“发汗”的过程中,随着内部温度的升高,植物体内发生生理紊乱或组织受损,多酚氧化酶与底物的亚细胞区域化被打破,其活性随之增高并与底物发生反应^[27]。

中药材地黄中含有丰富的酚类物质如咖啡酰葡萄糖苷等,这些物质在多酚氧化酶催化作用下形成对应的醌类产物,呈浅色的醌式结构分子,其进一步聚合或与其他芳香化合物结合形成更大的共轭体系,产生黑色或褐色,即产生褐变,从而导致药材品质的改变^[3]。

3.1.2 过氧化物酶的作用 过氧化物酶是广泛而大量存在于植物体内且活性较高的一种氧化还原酶。过氧化物酶是一种保护酶类,对逆境胁迫常以升高自身酶活力作为反应,以保护机体的生理活性。药材在“发汗”炮制过程中,在特定的湿度条件下,温度不断升高,细胞的呼吸作用加强,从而使过氧化物酶的活性升高。在过氧化物酶的催化作用下,药材的化学成分也随之发生改变。含有单萜类物质的中药材“发汗”炮制前后可能存在氧化还原反应,生成单萜类芳香产物,进而改变药材的品质与气味,如柠檬^[28]。

3.1.3 水解酶的作用 在药材“发汗”炮制的过程中,植物组织细胞受损或解离,在一定的湿度和温度条件下,水解酶类开始发挥其作用。细胞壁及细胞间质中的纤维素、半纤维素、果胶质等成分被水解,导致细胞壁的致密构造被破坏,植物细胞壁及细胞间质结构产生局部疏松、膨胀、破碎等变化,

细胞壁及细胞间质等传质屏障的作用减弱, 存在于不同部位的化学成分得以接触, 进而发生一系列生物转化反应, 最终引起中药材“发汗”炮制前后化学成分和药材品质的变化^[29]。王建华等^[30]研究表明, 堆积发汗的玄参药材与未“发汗”药材相比, 其哈巴俄苷的量降低, 哈巴苷和肉桂酸量升高, 其原因可能是“发汗”使哈巴俄苷的肉桂酰基水解, 生成了哈巴苷和肉桂酸。

3.1.4 糖苷水解酶的作用 糖苷水解酶在部分药材的“发汗”炮制过程中发挥着重要的作用。糖苷水解酶能专一性、选择性地对糖苷键产生水解作用, 释放出相应的糖配体和糖基。

天麻类药材含有天麻苷等化合物, 在“发汗”炮制前后发生糖基化反应, 其功效成分天麻苷在酶催化下水解释放出葡萄糖和天麻素。而糖基化通常是植物或微生物中天然产物生物合成的最后一步。地黄、玄参在堆置“发汗”过程中, 其中富含的环烯醚萜类成分发生了一系列的氧化、聚合、转化等反应, 地黄中梓醇在 β -葡萄糖苷酶的作用下发生酶解或在酸性环境下发生水解, 生成稳定的显色物质^[31]。

3.2 热胁迫作用

在植物生长发育过程中, 如果周围的环境条件显著偏离于植物适宜的环境条件, 那么该环境就会对植物的生长构成胁迫。在胁迫的条件下植物为了提高对生态环境的适应性, 一方面会在形态结构上发生改变, 另一方面会在生理生化上发生改变, 生成一些与抗环境胁迫密切相关的次级代谢产物^[32]。药材在“发汗”炮制过程中, 内部温度随着“发汗”炮制的时间逐渐升高, 当达到一定温度时药材细胞相当于处于高温胁迫的环境中, 相关的基因得以诱导表达, 从而最终产生并累积某些次生代谢产物。植物次生代谢产物是由次生代谢产生的一类细胞生命活动或植物生长发育正常运行的非必需的小分子有机物。研究表明, 许多中药的药理作用与其所含的次生代谢产物有关, 次生代谢产物通常也是其主要药效成分, 如黄酮类、酚类、香豆素类等^[33-37]。

特定的环境刺激可以诱导植物细胞内控制次生代谢产物合成过程相关酶的基因表达, 最终促进次生代谢产物的生成。外界环境对细胞外部的信号受体产生刺激, 从而激活次生代谢信使发出信号分子, 通过一系列的信号传递途径转入细胞, 启动关键合成酶基因的表达, 最终促进相关次生代谢产物的合成。也就是说, 次生代谢产物在植物体内的合成和

积累是一定的环境条件诱导作用下相关基因表达而产生的最终结果。

目前, 有多项研究已经证明植物受到各种环境胁迫后, 会引起体内物质成分的变化。鸡爪槭经高温胁迫后, 叶片的相对电导率和丙二醛(MDA)量分别为对照组的 137.41%和 139.91%, 超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)的活性分别为对照组的 304.06%和 258.88%, 脯氨酸和可溶性蛋白量分别为对照组的 215.98%和 368.85%^[38]。黄连经高温胁迫后, 可溶性糖量最高值比对照组增加了 1 倍, 脯氨酸量增加了 7 倍^[39]。焉申堂等^[40]采用 HPLC 法测定热胁迫后黄柏中小檗碱量的变化, 结果表明根中小檗碱量高于茎和叶, 说明高温对小檗碱的合成具有促进作用。

4 结语与展望

“发汗”是在民间长期生产和加工中总结出的一种炮制方法, 现代对“发汗”炮制法的研究主要集中于对比“发汗”炮制前后化学成分的变化, 对其作用机制的研究很少, 因此无法制定规范化的“发汗”炮制法标准, 从而大大局限了“发汗”炮制法的应用范围。未来对于“发汗”炮制法的研究应该着眼于对其内在作用机制的探究, 可以从生物酶的作用以及植物抗热胁迫等方面入手, 为“发汗”炮制法的应用提供理论依据, 为大规模推广“发汗”炮制法奠定理论基础。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2010.
- [2] 周莉江, 刘芳, 季宁平, 等. “发汗”与川产道地药材质量的思考 [J]. 中药与临床, 2015, 6(3): 4-6.
- [3] 杨滨. 中草药加工技术 [M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 2009.
- [4] 段金彪, 宿树兰, 严辉, 等. 药材初加工“发汗”过程及其酶促反应与化学转化机制探讨 [J]. 中草药, 2013, 44(10): 1219-1225.
- [5] 杜伟锋, 丛晓东, 蔡宝昌. 中药产地加工方法“发汗”的研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2013, 31(2): 341-342.
- [6] 刘红亮, 晏仁义, 邵爱娟, 等. 中药材“发汗”对药材质量的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(24): 349-352.
- [7] 刘红亮, 晏仁义, 郭健, 等. 厚朴“发汗”前后药材颜色及气味差异的数值化研究 [J]. 中国中药杂志, 2013, 38(1): 45-48.
- [8] 杜伟锋, 姜东京, 蔡宝昌. 基于近红外光谱和多维谱效

- 研究中药产地加工“发汗”[J]. 中成药, 2014, 36(11): 2377-2380.
- [9] 余盛贤, 张春霞, 陈承瑜, 等. “发汗”对厚朴质量的影响[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(14): 1831-1835.
- [10] 韦熹苑, 郭锦明, 丁扬洲, 等. 湖南道县产凹叶厚朴发汗前后挥发油成分及含量变化的研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2010, 30(9): 117-120.
- [11] 胡慧玲, 卫莹芳, 马雪玮, 等. 不同加工方法对厚朴主要化学成分的影响研究[J]. 中成药, 2011, 33(5): 834-837.
- [12] 杨红兵, 石磊, 詹亚华, 等. 生长年限与产地加工等对厚朴浸出物的影响[J]. 湖北中医杂志, 2007, 29(2): 52-53.
- [13] 金奇, 来平凡, 杜伟锋, 等. “发汗”对续断质量的影响[J]. 中华中医药学刊, 2011, 29(12): 2636-2638.
- [14] 杜伟锋, 丛晓东, 蔡宝昌. HPLC-ESI/MS 法测定续断“发汗”前后绿原酸和川续断皂苷VI的含量[J]. 药物分析杂志, 2013, 33(1): 112-115.
- [15] 王初. 发汗与不发汗续断中水溶性浸出物和川续断皂苷VI的比较[J]. 中草药, 2007, 38(6): 865-866.
- [16] 赵志刚, 郇舒蕊, 侯俊玲, 等. 不同产地加工方法对山东丹参药材质量的影响[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(8): 1396-1400.
- [17] 袁瑶, 季龙宝. 传统发汗法对丹参中丹参酮IIA的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2002, 16(3): 29.
- [18] 许腊英, 付文强, 万芳, 等. 茯苓炮制工艺的研究[J]. 湖北中医药大学学报, 2007, 9(1): 44-45.
- [19] 徐雷, 刘常丽, 张群, 等. 不同初加工方法对茯苓多糖和三萜类成分的影响[J]. 北方园艺, 2014(10): 148-151.
- [20] 张翠英, 李振国, 王青晓, 等. 不同加工干燥方法对禹白芷挥发性成分的影响[J]. 中药材, 2008, 31(2): 196-199.
- [21] 尹爱武, 田润, 黄国文, 等. 厚朴“发汗”对大鼠胃动力和抗溃疡作用研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(16): 212-215.
- [22] 李广润, 宫丽丽, 吕亚丽, 等. 川续断皂苷VI药理作用研究进展[J]. 中国新药与临床杂志, 2014, 33(7): 477-480.
- [23] 王丽楠, 杨美华. 传统发汗方法对杜仲降压作用的影响[A] // 2010年中国药学会大会暨第十届中国药师周[C]. 北京: 中国药学会, 2010.
- [24] 徐力, 王胜男, 华愉教, 等. 不同发汗方法玄参中核苷类成分的UPLC/QTRAP-MS/MS分析[J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(6): 2750-2753.
- [25] 陈佩东, 薛露, 严辉, 等. 厚朴“发汗”工艺的研究[J]. 中成药, 2015, 37(11): 2469-2472.
- [26] 夏秀华. 多酚氧化酶的研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2013, 20(6): 53-55.
- [27] 黄明, 彭世清. 植物多酚氧化酶研究进展[J]. 广西师范大学学报, 1998, 16(2): 65-70.
- [28] 顾雯雯, 胡亚婷, 韩英, 等. 植物过氧化物酶同工酶的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(34): 12011-12013.
- [29] 耿宝星. 论述中药有效成分酶法生物的转化[J]. 医学美容美容旬刊, 2014(12): 182-183.
- [30] 王建华, 谢丽华, 刘洪宇, 等. 玄参不同加工品中哈巴俄苷与肉桂酸的HPLC含量测定[J]. 中国药学杂志, 2000, 35(6): 375-378.
- [31] 段金殿, 宿树兰, 吕洁丽, 等. 药材产地加工传统经验与现代科学认识[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(24): 3151-3157.
- [32] 林桂权. 植物次生代谢产物及其在环境胁迫中的抵御作用[J]. 福建稻麦科技, 2009, 27(3): 39-42.
- [33] 董娟娥, 张康健, 梁宗锁. 植物次生代谢与调控[M]. 杨陵: 西北农林科技大学出版社, 2009.
- [34] 蒋妮, 覃柳燕, 李力, 等. 环境胁迫对药用植物次生代谢产物的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(8): 1528-1532.
- [35] Kissoudis C, Chowdhury R, Heusden S V, et al. Combined biotic and abiotic stress resistance in tomato [J]. *Euphytica*, 2015, 202(2): 317-332.
- [36] Goncharova E A, Eremin G V, Gasanova T A. Express-methods for evaluation of stress resistance in agricultural crops and strategy of their diagnostics for breeding [J]. *Russ Agric Sci*, 2015, 41(6): 437-440.
- [37] Rao I M, Beebe S E, Polania J, et al. Common beans, biodiversity, and multiple stresses: Challenges of drought resistance in tropical soils [J]. *Crop Pasture Sci*, 2014, 65(7): 667-675.
- [38] 陈庆生, 王伟伟, 窦全琴. 高温胁迫对鸡爪槭品种生理特性影响的研究[J]. 江苏林业科技, 2013, 40(5): 1-5.
- [39] 孙玉芳, 王三根, 尹丽, 等. 高温胁迫对黄连生理特性的影响研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 236-238.
- [40] 焉申堂, 彭怀志. 热激处理对黄檗主要药用成分小檗碱含量的研究[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2009, 22(3): 49-52.