

云南小黄姜品质与产地生态环境的关系研究

刘亿静

长江大学园艺园林学院, 湖北 荆州

收稿日期: 2025年4月25日; 录用日期: 2025年5月23日; 发布日期: 2025年5月31日

摘要

云南小黄姜作为重要的调味品和药材, 富含姜辣素、挥发油、姜黄素等生物活性成分, 其品质受产地生态环境显著影响。本研究以云南小黄姜主要产地(昭通、曲靖、文山、红河)为研究对象, 探讨不同产地生态环境差异对小黄姜品质的影响。结果表明, 昭通地区的小黄姜品质最优, 其高姜辣素、挥发油及多糖含量与低气温、大昼夜温差、高海拔及中性土壤环境密切相关。关键环境因子分析显示, 姜辣素含量与海拔和土壤pH值呈极显著正相关, 与气温呈极显著负相关; 土壤养分显著影响蛋白质积累, 而速效钾则与蛋白质含量呈负相关。基于研究结果, 建议在高海拔、低气温、中性偏酸性土壤区域优先发展小黄姜种植, 以优化其品质并增强市场竞争力。

关键词

小黄姜, 生态环境, 品质, 产地差异, 相关性分析

Study on the Relationship between Quality and Ecological Environment of Origin of Yunnan *Zingiber officinale*

Yijing Liu

College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou Hubei

Received: Apr. 25th, 2025; accepted: May 23rd, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

As an important flavoring and medicinal material, Yunnan *Z. officinale* is rich in gingerol, volatile oil, curcumin and other bioactive ingredients, and its quality is significantly affected by the ecological environment of the producing area. In this study, the main producing areas (Zhaotong, Qujing, Wenshan and Honghe) in Yunnan Province were taken as the research object, and the effects of ecological

environment differences in different producing areas on the quality of ginger were discussed. The results showed that the quality of little *Z. officinale* in Zhaotong area was the best, and the contents of high gingerol, volatile oil and polysaccharide were closely related to low temperature, large diurnal temperature difference, high altitude and neutral soil environment. Analysis of key environmental factors showed that gingerol content was positively correlated with altitude and soil pH value and negatively correlated with air temperature. Soil nutrients significantly affected protein accumulation, while available potassium was negatively correlated with protein content. Based on the results of the study, it is suggested to give priority to the development of small *Z. officinale* planting in the area of high altitude, low temperature and neutral and acidic soil, in order to optimize its quality and enhance its market competitiveness.

Keywords

Z. officinale, Ecological Environment, Quality, Origin Difference, Correlation Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

小黄姜(*Zingiber officinale*)是姜科姜属多年生草本植物,作为全球重要的调味香辛料和传统药用植物,具有显著的抗氧化、抗炎、抗病毒等生物活性,广泛应用于食品、医药和保健品领域[1]。云南小黄姜是我国特色姜类品种之一,以其独特的香气特征和较高的药用价值在国内外市场享有盛誉。云南省是我国小黄姜的主产区,种植面积约占全国总面积的15%,其中罗平、文山、曲靖、昭通和红河等地区是核心产区[2]。小黄姜产业已成为云南农业经济的重要支柱,在促进农民增收、推动农业产业结构调整和助力乡村振兴方面发挥着重要作用。

小黄姜作为云南特色农产品,具有较高的经济价值和药用价值,近年来在国内外市场备受青睐。然而,随着市场需求的增加,其产业面临品质不稳定、产量波动等问题,亟需通过科学研究提升其栽培技术和品质控制。目前,国内外关于生态环境对生姜品质影响的研究主要集中在土壤、气候、水分等单一因素对生姜生长及活性成分的影响[3][4],缺乏对多因素综合作用的系统性分析和影响因素的相关性分析。

本研究旨在探究不同产地生态环境差异对云南小黄姜品质的影响,明确关键环境因子与其品质指标之间的关联。通过系统分析土壤、气候、海拔等环境因素对云南小黄姜品质成分的影响,为优质栽培技术优化和产地选择提供科学依据,进而推动云南小黄姜产业的可持续发展。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

本试验供试材料为2024年12月采集自云南昭通(26.34°N~28.40°N, 102.52°E~105.19°E)、曲靖(24.19°N~27.03°N, 102.42°E~104.50°E)、文山(22.37°N~24.28°N, 103.35°E~105.39°E)、红河(22.26°N~24.45°N, 101.47°E~104.16°E)等4个地区的小黄姜。

2.2. 试验方法

2.2.1. 气象数据因子测定

通过中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)收集年平均气温、昼夜温差、有效积温、年降水量、光照时

间等气象数据；通过中国土壤信息系统(SIS China: Soil Information System of China)收集四个地区平均海拔、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤阳离子交换量、全氮含量、有效磷含量、速效钾含量等数据。

2.2.2. 品质指标测定

采用高效液相色谱法(HPLC)测定姜辣素含量(6-姜酚) [5]；水蒸气蒸馏法测定挥发油含量[6]；苯酚-硫酸法测定多糖含量[7]；凯氏定氮法测定蛋白质含量[8]。

2.2.3. 数据分析

使用 Excel 2016 记录整理数据，用 SPSS 27.0 进行差异性和相关性分析，采用 Graphpad Prism 9.0 进行绘图。

3. 结果与分析

3.1. 不同产地生态环境差异

由图 1 可知，四个地区的年平均气温、昼夜温差、有效积温和光照时间均存在显著差异($p < 0.05$)。四个地区中昭通的年平均气温最低，为 12.20℃，红河的年平均气温最高，达到 20.90℃，年平均气温排名为红河 > 文山 > 曲靖 > 昭通；曲靖的昼夜温差最大，为 14.40℃，红河最小，为 10.50℃，依次为曲靖 > 昭通 > 文山 > 红河；有效积温在文山最高，达到 6000.00℃，昭通最低，仅为 3357.00℃，且四个地区依次为文山 > 红河 > 曲靖 > 昭通；年光照时间在文山最长，为 2229.00 h，昭通最短，为 1700.00 h，四个地区依次为文山 > 曲靖 > 红河 > 昭通。另外，昭通和曲靖的平均海拔高度最高，分别为 1950 m 和 2000 m，显著高于文山和红河地区；年降水量方面，红河最高，为 1396.40 mm，显著高于其他三个地区($p < 0.05$)。

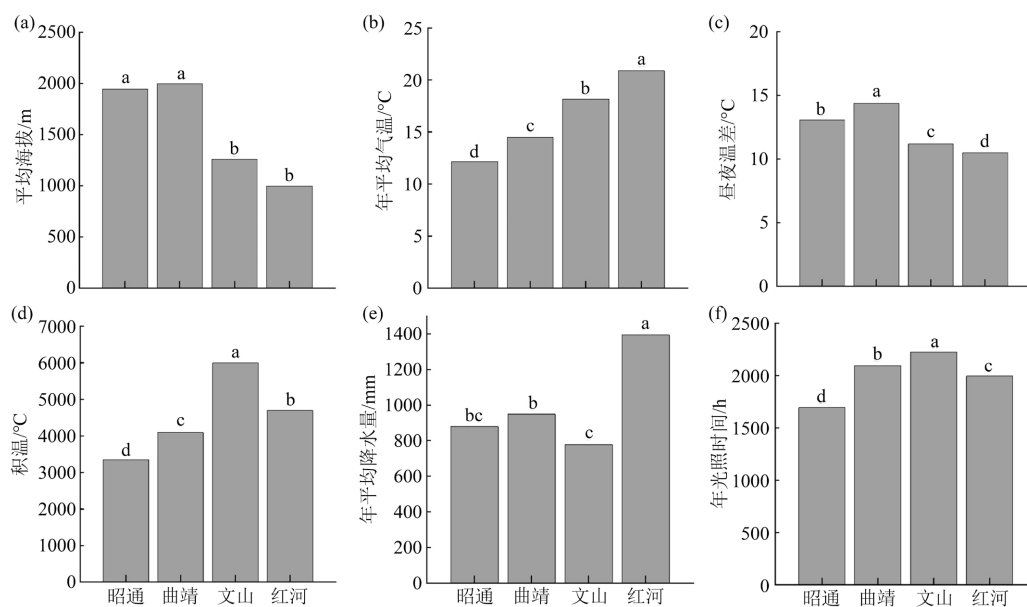


Figure 1. Meteorological data of *Z. officinale* in Yunnan from different origins

图 1. 云南小黄姜不同产地气象数据

由图 2 可知，四个地区的土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤阳离子交换量、全氮、有效磷和速效钾含量也存在一定差异。昭通的土壤 pH 值最高，为 6.60，显著高于另外三个地区($p < 0.05$)；四个地区土壤有机质含量有一定差异，但并不显著；土壤阳离子交换量具有明显差异($p < 0.05$)，其中曲靖最高，为 17.00

$\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，红河最小，为 $14.00\text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，排名依次为曲靖 > 昭通 > 文山 > 红河；全氮含量在曲靖最高，为 0.35% ，显著高于另外三个地区($p<0.05$)；有效磷含量在曲靖最高，为 $35.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，昭通最低，为 $21.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；曲靖和红河的速度钾含量显著($p<0.05$)高于昭通和文山，分别为 $201.83\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $145.19\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

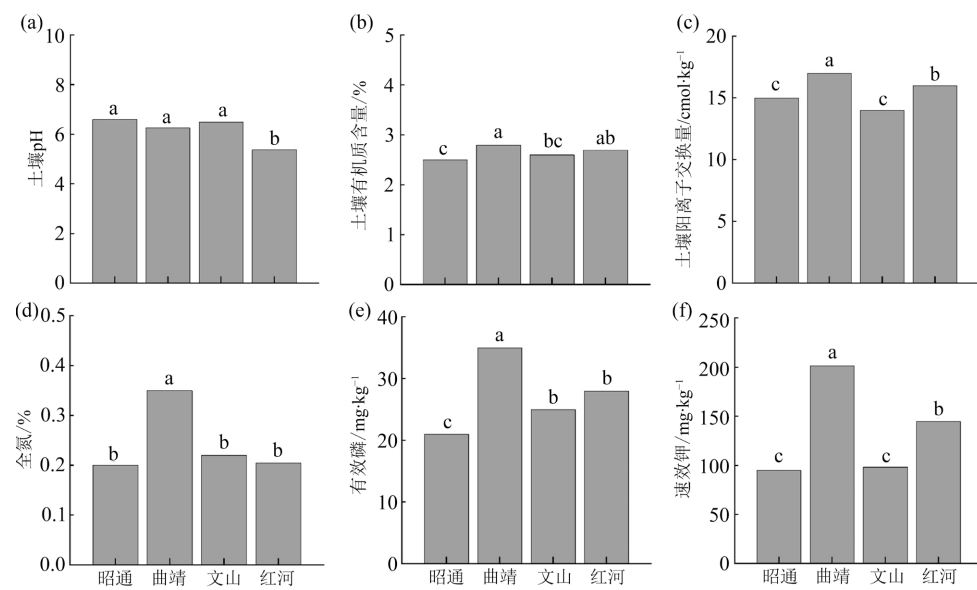


Figure 2. Soil environment data of *Z. officinale* in Yunnan from different origins
图 2. 云南小黄姜不同产地土壤环境数据

3.2. 不同产地云南小黄姜品质差异

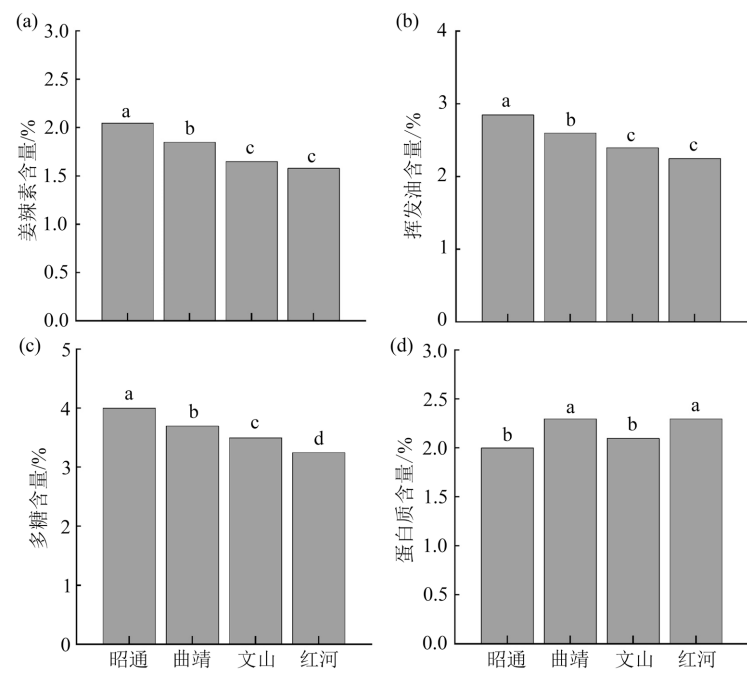


Figure 3. Quality data of *Z. officinale* in Yunnan from different origins
图 3. 不同产地云南小黄姜品质数据

由图 3 可知,四个地区的姜辣素、挥发油、多糖和蛋白质含量均存在一定差异。不同产地云南小黄姜的姜辣素含量由高到低依次为昭通 > 曲靖 > 文山 > 红河,其中昭通小黄姜样品的姜辣素含量最高,为 2.05%,且与其他产地样品之间存在显著性差异($p < 0.05$);昭通和曲靖的小黄姜挥发油显著高于另外两个地区,分别为 2.85%和 2.60%;多糖含量在不同产地之间存在显著性差异($p < 0.05$),其中昭通小黄姜的多糖含量显著高于其他地区,为 4.00%,四个地区多糖含量由高到低依次为昭通 > 曲靖 > 文山 > 红河;曲靖和红河小黄姜的蛋白质含量最高,均为 2.30%,显著高于文山和昭通地区。

3.3. 生态环境因子与品质指标的相关性分析

在多个指标中,两两指标之间存在相关性且系数的绝对值越高,说明这两个指标之间关联越密切。因此,为进一步比较不同产地云南小黄姜品质指标之间的相关性,使用皮尔逊法进行相关性分析。结果如图 4 所示,小黄姜品质指标与产地生态环境之间相关性有所差异。其中,年平均气温与平均海拔呈极显著负相关($p < 0.01$);昼夜温差与平均海拔呈极显著正相关,与年平均气温呈极显著负相关($p < 0.01$);积温与年平均气温呈极显著正相关($p < 0.01$),与昼夜温差呈显著负相关($p < 0.05$);年降水量与年平均气温呈显著正相关($p < 0.05$);光照与积温呈极显著正相关($p < 0.01$);土壤 pH 值与海拔呈显著正相关($p < 0.05$),与年平均气温呈显著负相关($p < 0.05$),与降水呈极显著负相关($p < 0.01$);土壤全氮与温差和土壤有机质含量呈极显著正相关($p < 0.01$);土壤有效磷与有机质含量和全氮含量呈极显著正相关($p < 0.01$);速效钾含量与有机质含量、全氮、有效磷呈极显著正相关($p < 0.01$);阳离子交换量与平均海拔和速效钾呈显著正相关($p < 0.05$),与有机质含量呈极显著正相关($p < 0.01$);姜辣素含量与平均海拔、昼夜温差和土壤 pH 呈极显著正相关,与年平均气温、积温和年光照时长呈极显著负相关($p < 0.01$);挥发油含量与平均海拔、昼夜温差、土壤 pH 和姜辣素含量呈极显著正相关($p < 0.01$),与积温呈显著负相关($p < 0.05$),与年平均气温呈极显著负相关($p < 0.01$);多糖与平均海拔、昼夜温差、土壤 pH、姜辣素和挥发油含量呈极显著正相关($p < 0.01$),与积温呈显著负相关($p < 0.05$),与年平均气温呈极显著负相关($p < 0.01$);蛋白质含量与年降水量、全氮、阳离子交换量呈显著正相关($p < 0.05$),与有机质、有效磷和速效钾含量呈极显著负相关($p < 0.01$)。

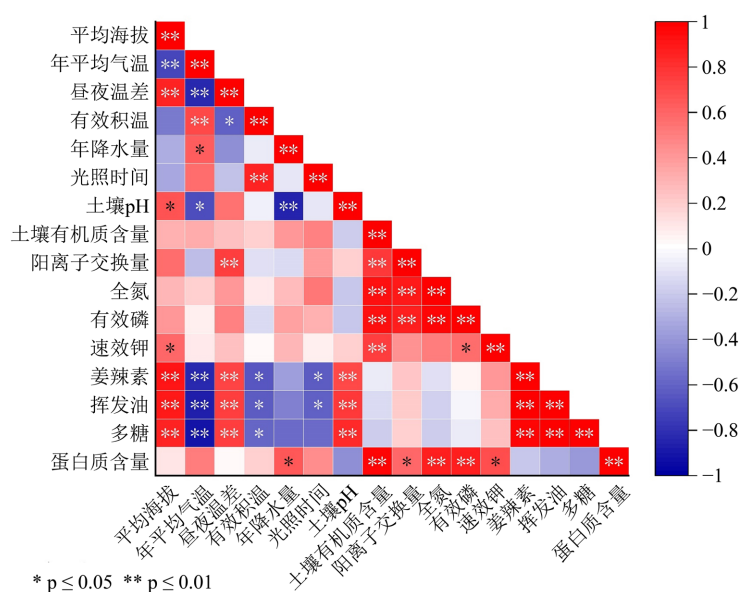


Figure 4. Correlation between ecological environment factors and quality indicators
图 4. 生态环境因子与品质指标的相关性

4. 讨论

气候条件是影响小黄姜品质的重要因素。研究结果表明,昭通地区的小黄姜姜辣素、挥发油和多糖含量显著高于其他地区,这可能与其较低的年平均气温和较大的昼夜温差有关。低温环境可能延缓生姜的生长周期,促进次生代谢产物的积累,从而增加姜辣素和挥发油含量[9]。此外,较大的昼夜温差有助于光合产物的积累,进而提升多糖含量,白天较高的温度促进光合作用,而夜间低温可抑制呼吸消耗,使更多碳源流向次生代谢途径[10]。相比之下,红河地区年平均气温较高,昼夜温差较小,其小黄姜的姜辣素和挥发油含量较低,进一步验证了气温与品质指标的负相关性,这与葡萄、苹果等果树中糖分积累的规律相似[11]。光照时间和有效积温也对小黄姜品质产生显著影响。文山地区光照时间最长,但其姜辣素含量较低,可能与高温和低海拔环境加速生姜生长、缩短次生代谢时间有关[12]。而昭通地区光照时间较短,但结合低温和高海拔条件,更有利于活性成分的积累。

海拔通过影响气温、光照和降水等间接因素对小黄姜品质产生显著影响。昭通和曲靖的平均海拔较高,其小黄姜的姜辣素和挥发油含量显著高于低海拔的文山和红河地区。高海拔地区通常气温较低、紫外线较强,能刺激生姜产生更多的次生代谢产物以应对环境胁迫[13]。高海拔意味着更强的 UV-B 辐射[14],已有研究证实,UV-B 能激活生姜中 MAPK 信号通路,上调苯丙烷代谢相关基因表达,这解释了为何高海拔地区姜辣素含量显著增加[15]。

土壤特性对小黄姜品质的影响主要体现在养分供应和土壤化学性质上。昭通地区的土壤 pH 值处于中性偏酸范围,与小黄姜姜辣素含量呈极显著正相关,这可能是由于中性环境有利于土壤微生物活性,促进有机质矿化,增加有效养分供应,同时还可通过影响根系细胞膜透性,调控姜辣素合成关键酶(如姜烯合成酶)的活性[16],因此中性至微酸性土壤可能更有利于姜辣素的合成。曲靖地区较高的全氮和有效磷含量与其小黄姜较高的蛋白质含量相关。氮素是氨基酸合成的必需元素,而磷参与能量代谢(ATP 合成),两者协同促进蛋白质合成[17][18]。值得注意的是,速效钾含量与蛋白质呈负相关,可能由于钾离子竞争抑制了氮素吸收,这一现象在茶类植物中也有类似报道[19]。此外,曲靖较高的阳离子交换量,表明其土壤保肥能力强,能为生姜生长提供稳定的养分供应[20]。

本研究虽然系统分析了生态环境对云南小黄姜品质的影响,但仍存在以下局限性:1) 本研究主要关注单一环境因子的影响,未来可通过多因素实验设计(如正交试验)探究气候、土壤和海拔的交互作用。2) 仅选取了四个代表性产区,未来可扩大样本范围以增强结论的普适性,并开展生长周期动态监测。3) 品质形成的分子机制尚未深入,未来可结合转录组学、代谢组学等技术手段,从分子水平揭示环境因子调控品质形成的机制。

5. 结论

本研究明确了云南小黄姜品质与产地生态环境的密切关系,得出以下结论:1) 昭通地区的小黄姜品质最优,其高姜辣素、挥发油和多糖含量与低气温、大昼夜温差、高海拔及中性土壤环境密切相关。2) 气温、昼夜温差、土壤 pH 值和海拔是影响云南小黄姜品质的关键环境因子,其中姜辣素含量与海拔和土壤 pH 值呈极显著正相关,与气温呈极显著负相关。3) 土壤养分(如全氮、有效磷)对小黄姜蛋白质含量有显著影响,但速效钾含量与蛋白质积累呈负相关。研究为云南小黄姜的优质栽培和产地选择提供了科学依据,建议在高海拔、低气温、中性偏酸性土壤区域优先发展小黄姜种植,以提升其品质和市场竞争力。

参考文献

- [1] 郭杰, 蒋姗, 王悦, 等. 经典名方中生姜的本草考证及其质量评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(2): 27-37.
- [2] 李锦兰. 数智赋能云南罗平助推小黄姜产业破局[N]. 中国商报, 2023-11-22(P02).

- [3] 尚庆文, 徐坤, 孔祥波, 等. 土壤容重对生姜生长及产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2006(11): 18-20.
- [4] 徐坤, 邹琦, 赵燕. 土壤水分胁迫与遮荫对生姜生长特性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1645-1648.
- [5] 张永鑫, 李俊松, 陈丽华, 等. 高效液相色谱法同时测定姜及其不同炮制品中 5 种姜辣素的含量[J]. 中国药学杂志, 2012, 47(6): 471-474.
- [6] 邱琴, 张国英, 刘辛欣, 等. 超临界 CO₂ 流体萃取法与水蒸气蒸馏法提取干姜片挥发油化学成分的比较[J]. 上海中医药杂志, 2005, 39(3): 55-57.
- [7] 徐斌, 董英, 林琳, 等. 改良苯酚-硫酸法测定苦瓜多糖含量[J]. 食品科技, 2005(7): 79-82.
- [8] 史玮, 孙莹, 徐振斌. 凯氏定氮法测定粮食蛋白质含量方法研究[J]. 粮食科技与经济, 2013, 38(5): 31-32.
- [9] 谢腾, 莫歌, 张山山, 等. 不同诱导子对植物次生代谢的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(7): 210-215.
- [10] 候婷婷, 于德水, 何鑫, 等. 从微生物角度揭示气候变暖对土壤有机碳转化的影响[J]. 土壤科学, 2025, 13(1): 58-67.
- [11] 谢兆森, 王世平, 许文平. 葡萄果实中的糖分积累和调控[J]. 植物生理学报, 2008, 44(4): 785-790.
- [12] 姚仁秀, 陈燕, 吕晓琴, 等. 海拔及环境因子影响杜鹃属植物的表型特征和化学性状[J]. 生物多样性, 2023, 31(2): 23-37.
- [13] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 等. 植物药材次生代谢产物的积累与环境的关系[J]. 中草药, 2005, 36(9): 1415-1418.
- [14] 陈宗瑜, 钟楚, 王毅, 等. 减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5799-5809.
- [15] 薛慧君, 岳明. UV-B 辐射增强对陆地植物次生代谢的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6): 1131-1137.
- [16] 张成娥, 杜社妮, 白岗栓, 等. 黄土塬区果园套种对土壤微生物及酶活性的影响[J]. 土壤与环境, 2001, 10(2): 121-123.
- [17] 苏诗杰, 付清勇, 朱思海, 等. 农田氮肥的动态变化及施氮对小麦产量与品质影响的研究进展[J]. 山东农业科学, 2009(9): 80-83.
- [18] 曹茜. 水稻根系耐高铵突变体材料的筛选和鉴定[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2022.
- [19] 田歌, 王芬, 彭玲, 等. 不同供钾水平对平邑甜茶幼苗生长及 NO 吸收利用特性的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2254-2260.
- [20] 于耀泓, 刘悦, 王艺颖, 等. 鹅凰嶂山地雨林土壤阳离子交换量和交换性盐基离子分布特征[J]. 土壤通报, 2022, 53(6): 1341-1349.