

Absorption and Utilization of 9 Elements in Soil by *Prickly ash* Organs

Daodan Ji*, Zhengqing Zhang, Menglou Li#

College of Forestry, Northwest A&F University, Xianyang Shanxi
Email: 1448997039@qq.com, #limenglou@126.com

Received: Mar. 15th, 2020; accepted: Apr. 1st, 2020; published: Apr. 8th, 2020

Abstract

Aim: In order to reveal the absorption and utilization level of nutrient elements in soil by various organs of *Prickly ash* and grasp the demand of nutrient elements for fruit development of *Prickly ash*, and provide a basis for rational fertilization. **Method:** The contents of N, P, K, Ca, Mg, B, Zn, Cu and Mo in soil and *Prickly ash* samples were measured and analyzed statistically. **Result:** The content of K, Cu and Zn required by *Prickly ash* is sufficient in the soil, while the soil lacks N and the content of P, Ca, Mg, B and Mo is very small. The contents of elements in *Prickly ash* are $Ca > K > N$, $P, Mg > B > Cu$, $Zn > Mo$, respectively. The vegetative organs of *Prickly ash* have stronger aggregation ability to N, K, Mg and B, while the fruits have stronger aggregation ability to K, B and Mg. **Conclusion:** The demand level of *Prickly ash* and its fruits for N, P, K, Ca, Mg and B is relatively high.

Keywords

Prickly ash, Soil, Nutritional Elements, Absorption and Utilization

花椒各器官对土壤中9种元素的吸收利用研究

纪道丹*, 张正青, 李孟楼#

西北农林科技大学林学院, 陕西 咸阳
Email: 1448997039@qq.com, #limenglou@126.com

收稿日期: 2020年3月15日; 录用日期: 2020年4月1日; 发布日期: 2020年4月8日

摘要

目的: 揭示花椒各器官对土壤中营养元素的吸收和利用水平, 掌握花椒果实发育对营养元素的需求, 为

*第一作者。

#通讯作者。

合理施肥提供基础。方法：测定土壤和花椒样中N、P、K、Ca、Mg、B、Zn、Cu和Mo含量并进行统计分析。结果：土壤中花椒树所需求的K、Cu、Zn元素含量很丰富，缺少N元素，P、Ca、Mg、B、Mo各元素的含量极为贫乏；花椒树体中各元素含量由多到少，依次为Ca > K > N、P、Mg > B > Cu、Zn > Mo；花椒营养器官对N、K、Mg和B，果实对K、B和Mg的聚集能力较强。结论：花椒树和果实对N、P、K、Ca、Mg、B需求水平较高。

关键词

花椒，土壤，营养元素，吸收利用

Copyright © 2020 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

研究作物对土壤中营养元素的利用规律是研发配方肥料或专用肥的基础[1] [2]。许多研究表明，不同种类的植物对土壤中营养元素的吸收和利用程度差别较大，如苹果和柑橘对土壤中N、P和K的需求水平有明显差别[3] [4]。此外，同一植物的不同器官也对营养元素有完全不一样的需求，如苹果叶片和果实对营养元素的需求有很大差异[3] [5]。因此，研究栽培植物不同器官对营养元素的需求水平和规律，对于通过施肥提高其产量有实际意义。

花椒是我国北方和西南山地及丘陵地区栽培面积较大的经济树种之一[6]。栽培花椒经济效益高，施肥和修剪是提高花椒产量的主要措施，花椒施肥主要以氮肥及有N、P、K组成复合肥为主[7] [8] [9]。研究表明，花椒果实富含K、P、Ca、Mg、B、Zn、Cu、S、Fe、Mn [10] [11] [12] [13] [14]，但这些报道未能系统进行营养元素在土壤与花椒枝皮、叶和果实间的富集和吸收利用规律的研究，难以确切揭示花椒各器官对营养元素需求的差异和对肥料中营养成分的要求。由于土壤中S的临界值为12 mg/kg、复合肥和磷肥中的S基本能满足植物的需要[15] [16]；陕西土壤中Fe含量丰富、达1.76%~4.38% [17]，Mn含量也很丰富[18] [19]，Mo对植物开花坐果及发育有重要作用[20]。因此，本文在陕西花椒主产区，进行花椒对N、P、K、Ca、Mg、B、Zn、Cu、Mo各元素的利用规律研究。

2. 材料与方方法

2.1. 采样方法

2017年7月下旬在陕西韩城、合阳、澄城、白水、蒲城、富平、岐山及潼关、华阴、华州区和凤县花椒栽培县(市)，选取17个盛果期花椒园(其中，华州区为6个)，再从花椒园中选取面积不小于0.33 Km²成片花椒林地，分别采集土壤及花椒枝、叶和果实样；其中在每采样点挖1土壤剖面，采集0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm处土壤100 g以上，然后全部混合均匀称重300 g装袋标记；采样方法详见“花椒器官中6种重金属的含量与分布研究” [6]。

2.2. 分析方法

粉碎所采集的花椒枝条、叶、果皮、种子以及土壤样，送西北农林科技大学测试中心检测土壤样中速效氮N、速效磷P、速效钾K，及钙Ca、镁Mg、铜Cu、锌Zn、硼B、钼Mo含量。其中土壤样中的

N、P 和 Mo 分别采用碱解扩散法、碳酸氢钠法、分光光度法[1] [21], K、Ca、Mg、Cu、Zn 采用原子吸收光谱法(AAS) [22]; 花椒样中的 N 采用全自动定氮仪法[5], P 和 Mo 采用分光光度法, K、Ca、Mg、Cu、Zn 采用 AAS 法, B 采用电耦合等粒子质谱法(ICP-MS) [14]。

2.3. 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件进行数据处理并做图。

富集系数 $BCF = X_i/Y_i$ 、转运系数 $BTF^* = X_o/X_b$ [6], 满足值 $Z = Y_i/BCF$, 土壤中各元素的比率% = 100 (土壤某元素含量/土壤元素含量总合)%, 花椒器官元素间的比率% = 100 (花椒某器官某元素含量/花椒所有器官某元素含量总合)%; Y_i 土壤元素含量, X_i 花椒器官元素含量, X_b 枝皮元素含量, X_o 其他花椒器官元素含量, Z 为土壤元素含量满足花椒需求的能力值(简称满足值, 详见讨论)。

3. 结果与分析

3.1. 花椒营养元素的分布

通过 765 批次(17 样地 × 9 种元素 × 5 个分析部位)样品进行测试分析, 研究发现, 花椒林地土壤中元素含量大小依次为 K、Zn、N、Ca、Cu、Mg、P、B、Mo, 枝条皮层中依次为 Ca、K、P、N、Mg、Zn、B、Cu、Mo, 花椒叶中依次为 Ca、K、Mg、N、P、B、Zn、Cu、Mo; 花椒果皮中依次为 K、Ca、P、N、Mg、B、Zn、Cu、Mo; 花椒种子中依次为 K、Ca、Mg、P、N、Zn、B、Cu、Mo (表 1)。结果表明, 在花椒树营养生长和果实发育中对 Ca、K、Mg、P、N、B 元素的需求水平较高。

Table 1. The average content of 9 nutrients in soil and various organs of *Prickly ash* forest (mg/kg)

表 1. 花椒林地土壤及花椒各器官中 9 种营养元素的平均含量(mg/kg)

元素 Element	土壤 Soil	枝皮 Bark	叶 Leaf	果皮 Pericarp	种子 Seed
N	39.6700 ± 27.8393	1304.7059 ± 209.8212	2643.5294 ± 212.2967	1917.0588 ± 260.0399	1702.5000 ± 249.0022
P	7.3253 ± 8.5359	1605.2353 ± 551.7978	1214.2941 ± 137.3568	2182.2353 ± 508.0203	1849.0833 ± 329.0966
K	218.6471 ± 67.7083	3773.5294 ± 679.5928	10521.7647 ± 3419.9316	12324.1176 ± 1624.7246	19233.3333 ± 1884.7340
Ca	37.9353 ± 29.2392	170588.2353 ± 37675.1733	42617.6471 ± 9506.8542	8983.5294 ± 1107.6682	7895.0000 ± 1032.0974
Mg	8.4588 ± 3.1810	1310.6471 ± 246.3228	3239.4118 ± 861.1447	1411.7059 ± 419.1784	2127.5000 ± 252.9204
B	0.6041 ± 0.1904	14.4412 ± 3.1588	38.9706 ± 9.0028	25.8471 ± 5.3958	20.4767 ± 5.0306
Mo	0.2859 ± 0.3040	1.0802 ± 0.9974	1.7771 ± 1.1727	0.5363 ± 0.4139	0.2790 ± 0.1423
Cu	21.8882 ± 2.8877	11.8124 ± 3.4188	17.2941 ± 4.0833	7.0200 ± 2.9485	13.5417 ± 2.5002
Zn	73.9412 ± 9.1144	29.0941 ± 9.0389	27.9588 ± 4.5403	16.4118 ± 13.8752	28.7833 ± 6.0329

3.2. 花椒各营养元素的均衡比例

仅以所分析的 9 种元素计算出其在花椒各器官中的比率(表 2)。结果表明, 花椒林地土壤中 K、Zn、N、Ca 尤其是 K 所占比例很高, Ca、K 和 N 在花椒营养器官枝和叶中占比较高, K、Ca、P、N、Mg 在果实中比例较高, 9 种元素 N、P、K、Ca、Mg、B、Zn、Cu 和 Mo 在花椒中所占的平均百分率分别为 4.3568、4.1647、30.9839、55.8992、4.4576、0.0578、0.0016、0.0257、0.0528 (图 1)。这说明除微量元素外, K、Ca、P、N、Mg 在花椒树生长和果实发育中发挥的作用较重要。

Table 2. Percentage of 9 elements in various organs of *Prickly ash*
表 2. 9 种元素在花椒各器官中的比率

元素 Element	含量比率 Content percentage %				
	土壤 Soil	枝皮 Bark	叶 Leaf	果皮 Pericarp	种子 Seed
N	9.7051	0.7304	4.3823	7.1350	5.1794
P	1.7921	0.8986	2.0130	8.1219	5.6254
K	53.4909	2.1124	17.4425	45.8683	58.5125
Ca	9.2807	95.4934	70.6495	33.4352	24.0185
Mg	2.0694	0.7337	5.3701	5.2541	6.4724
B	0.1478	0.0081	0.0646	0.0962	0.0623
Mo	0.0699	0.0006	0.0029	0.0020	0.0008
Cu	5.3548	0.0066	0.0287	0.0261	0.0412
Zn	18.0893	0.0163	0.0463	0.0611	0.0876
Σ	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000

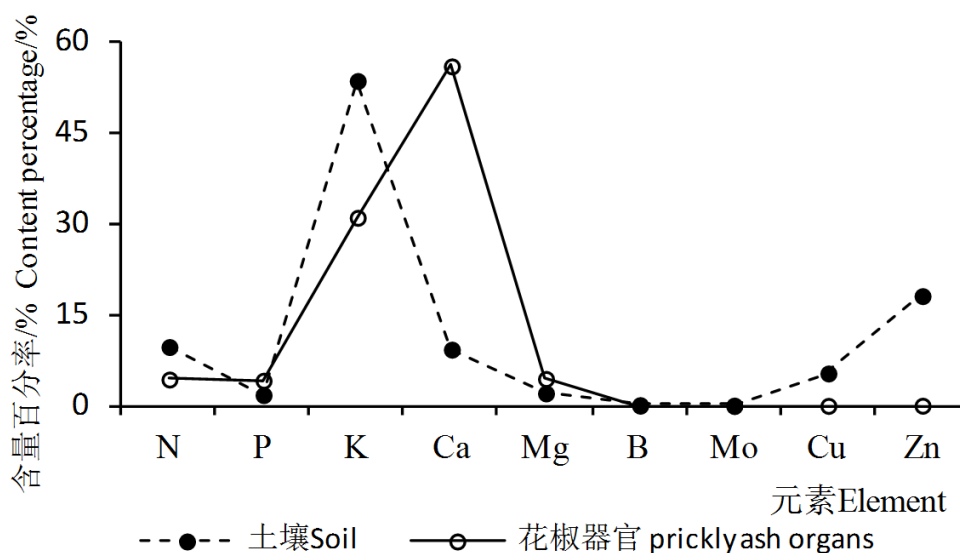


Figure 1. The ratio of 9 elements in the soil and *Prickly ash* organs
图 1. 土壤及花椒器官中 9 种元素间的比率

3.3. 花椒树对 9 种元素的吸收与转运差异

富集系数(吸收系数)是土壤与花椒器官元素含量的比值,其比值大于 1 表明花椒器官主动从土壤中吸收和利用该元素,综合分析: Ca、P、Mg 的富集系数 > 200, N、K、B 在 20~90 之间, Mo 在 1~4 之间, Cu 和 Zn < 1 (表 3), 这表明不同元素被花椒器官吸收和利用程度有很大差异。

转运系数 BTF^* 表示营养元素通过枝皮被其他器官利用的多寡,间接反映各营养元素的输送能力。花椒叶 P、Ca 和 Zn 的 $BTF^* < 1$, N、K、Mg 和 B > 2; 花椒果皮 Ca、Mo、Cu 和 Zn 的 $BTF^* < 1$, K > 3、B = 1.79; 花椒种子 Ca、Mo 和 Zn 的 $BTF^* < 1$, K > 5、Mg = 1.62 (图 2)。这揭示出花椒营养器官通过枝条获取 N、K、Mg 和 B 的能力较强,花椒果实通过枝条获取 K、B 和 Mg 的能力较强。

Table 3. Enrichment and transport coefficient of 9 elements
表 3. 9 种元素的富集系数和转运系数

元素 Element	富集系数 Enrichment coefficient <i>BCF</i>			
	枝皮 Bark	叶 Leaf	果皮 Pericarp	种子 Seed
N	32.8890	66.6380	48.3252	42.9166
P	219.1358	165.7671	297.9039	252.4242
K	17.2585	48.1221	56.3653	87.9652
Ca	4496.8205	1123.4298	236.8119	208.1175
Mg	154.9448	382.9635	166.8920	251.5132
B	23.9053	64.5102	42.7861	33.8962
Mo	3.7782	6.2158	1.8758	0.9759
Cu	0.5397	0.7901	0.3207	0.6187
Zn	0.3935	0.3781	0.2220	0.3893

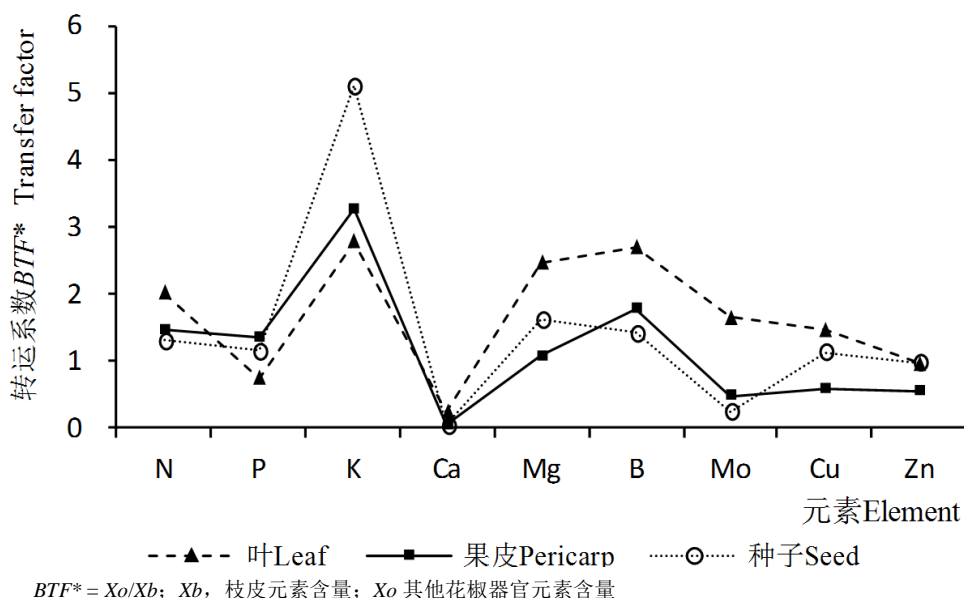


Figure 2. Changes of transport coefficient for 9 elements in *Prickly ash* organs
图 2. 9 种元素的转运系数在花椒器官中的变化

3.4. 花椒林地土壤营养元素的丰缺水平

依据全国第二次土壤普查养分分级标准[23] (以下简称“分级标准”)中的分级值 L_v 、及土壤元素含量满足花椒的需求能力 Z 值, 确定花椒林地各营养元素的丰缺水平 LRI_y 和 LRI_z (表 4)。表 4 说明, 按照分级标准中的等级值, 花椒林地土壤中各元素的丰缺水平为: K、Cu、Zn 含量很丰富, Mo 丰富, B 中等, P 缺, N、Ca、Mg 很缺; 但根据 Z 值各元素的丰缺水平为 K、Cu、Zn 含量很丰富, N 缺, P、Ca、Mg、B、Mo 很缺。这说明, Z 值可以更直接的判别土壤对花椒各器官所需要元素的满足能力。

Table 4. Indicators of rich and deficient in soil of *Prickly ash* forest**表 4.** 花椒林地土壤中各营养元素的丰缺水平

	土壤 Y_i (mg/kg)	BCF	丰缺水平(LRI) Level of richness and inadequacy			
			L_v (mg/kg)	LRI_y	$Z = Y_i/BCF$	LRI_z
N	39.6700	47.6922	30~60	很缺	0.8318	缺
P	7.3253	233.8078	6~10	缺	0.0313	很缺
K	218.6471	52.42778	>200	很丰富	4.1704	很丰富
Ca	37.9353	1516.295	<300	很缺	0.0250	很缺
Mg	8.4588	239.0784	<50	很缺	0.0354	很缺
B	0.6041	41.27445	0.51~1.00	中等	0.0146	很缺
Mo	0.2859	3.211425	0.21~0.30	丰富	0.0890	很缺
Cu	21.8882	0.5673	>1.80	很丰富	38.5831	很丰富
Zn	73.9412	0.345725	>3.00	很丰富	213.8729	很丰富

*Indicator value of LRI_z : <0.10, 很缺 very lack; >0.11~<0.99, 缺 lack; >1.00~<2.00, 中等 medium; >2.01~<4.00, 丰富 rich; >4.01, 很丰富 very rich. **Y 指标: 来自“全国第二次土壤普查养分分级标准” Y Indicator value from nutrient classification standard for the second national soil census.

4. 结论与讨论

4.1. 结论

陕西 17 个花椒林地土壤 9 种元素研究说明, 土壤中大量元素含量由大到小依次为: K、N、P, 中量元素为 Ca、Mg, 微量元素为 Zn、Cu、B、Mo; 这 9 中元素满足花椒树的丰缺水平是, K、Cu、Zn 含量很丰富, N 缺, P、Ca、Mg、B、Mo 很缺。

综合各元素在花椒树体中的含量表明, 9 种元素含量由大到小是 $Ca > K > N、P、Mg > B > Cu、Zn > Mo$, 花椒营养器官对 N、K、Mg 和 B 的聚集能力较强, 花椒果实对 K、B 和 Mg 的聚集能力较强, 花椒树和果实对 N、P、K、Ca、Mg、B 需求水平较高。

4.2. 讨论

N、P、K 是提高栽培植物产量必须施用的主要营养元素, 不同的作物和经济树种如苹果、柑橘、梨等果树对 N、P 和 K 的需求水平差别很大[24] [25] [26] [27] [28], 小麦、玉米、水稻之间的要求也不同[29] [30] [31]。本研究数据可统计出, 花椒对 N、P、K 的需求比是 1.05:1.00:7.44, 花椒果实的要求则是 1.00:1.12:8.48, 说明花椒对大量营养元素的要求不同于其他树种或作物, 这一现象在花椒对中微量元素的要求上也有体现。

研究土壤与栽培植物各器官中的营养元素最终目的在于配方施肥、提高产量和生长量[32] [33], 但配方施肥和专用肥一般都以土壤元素的丰欠水平和施肥试验效果为依据[34] [35]。也可以直接检测植物器官的营养元素含量以确定使用的肥料养分是否均衡, 最常用的方法是对植物叶片进行营养诊断、土壤营养检测及施肥试验[24] [36]; 其中进行土壤与植物组织或器官营养元素的联合检测和分析, 则能较确切的揭示植物对营养元素的需要及施肥要求[33] [37]。花椒施肥试验表明, 合理的 N、P、K 配方可提高花椒增产 60%~80% [38] [39] [40], 本研究通过对土壤与花椒器官中营养元素的联合分析, 虽然确定了花椒尤其是花椒果实对营养元素均衡要求, 但还待施肥试验进行验证。

施肥实验报道还表明, 除 N、P、K 外, Ca 也对花椒产量有很大的贡献[41] [42] [43] [44]; 花椒林地

土壤和花椒养分研究则说明,部分花椒地土壤 N、P、K、Fe、Mn、B、Zn 供给不足,花椒果实发育对 N、P、K、Ca、Mg、B、Mg 需求量较大[45] [46] [47],这与本研究结果基本相似[48]。但已报道的花椒施肥试验未同时进行土壤和花椒营养元素检测,除 N、P、K 配方还可能存在缺陷外,也未考虑施用对花椒果实发育有重要作用的中微量元素肥,因此还需要通过施肥试验进一步明确中微量元素的增产效果。

本研究依据全国第二次土壤普查养分分级标准中的指标[23] (以下简称“分级标准”),阐述了花椒林地土壤中各元素的丰欠水平,分级标准中的指标覆盖面是全国所有栽培植物[1] [3] [23] [49],虽然标准中的指标常用于土壤肥力或养分评价[50] [51] [52],但难以利用标准中的指标直观地说明土壤元素含量满足花椒的需求能力大小。评价土壤养分或肥力的方法报道有很多,但评判结果几乎都用丰欠水平进行表述,难以找到直接说明土壤养分满足栽培植物需求能力大小的数量值,因而出现了不同的模型分析和判别方法[53] [54] [55]。本研究尝试用 $Z = Yi/BCF$ 直接判别土壤对花椒各器官所需要元素的满足能力,理论上土壤中元素含量满足花椒需求能力的临界值是 $Z = 1$, $Z < 1$ 表示土壤中元素含量欠缺、 $Z > 1$ 则为丰富,但由于本研究数据偏少, Z 最小是 0.0146、最大为 213.8729,还不能科学地确定土壤中元素含量极缺、很缺、缺乏及丰富、很丰富所对应的 Z 值范围,因此还需要对满足值 Z 继续进行研究。

基金项目

陕西省科技厅科技统筹创新工程计划项目(2016KTTSNY03-02)。

参考文献

- [1] 熊艳,王平华,何晓滨,等. 云南省旱地玉米土壤养分丰缺指标及肥料利用率研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 203-208.
- [2] 甄济营,周学建. 土壤养分配方施肥的研究[J]. 洛阳工学院学报, 1994, 15(3): 46-50.
- [3] 彭福田,姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 361-367.
- [4] 唐平,叶荣生,商要风,等. 重庆三峡库区柑橘园土壤酸碱度及有效氮磷钾的含量特征[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(3): 96-98.
- [5] 张新生,冉辛拓,陈湖,等. 燕山山区苹果叶片氮磷钾含量标准范围的确定[J]. 河北农业科学, 2008, 12(8): 14-15, 24.
- [6] 李联队,弥云,谢毓芬,等. 花椒器官中6种重金属的含量与分布研究[J]. 西南林业大学学报, 2019, 39(4): 24-33.
- [7] 张冰灵. 整形修剪对花椒树的营养研究[J]. 河北林业科技, 2012(3): 11, 24.
- [8] 田书会. 盛果期花椒树修剪试验[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(8): 124-125.
- [9] 崔云玲,郭天文,李娟,等. 花椒平衡施肥技术研究[J]. 西部林业科学, 2006, 35(4): 112-114.
- [10] 宁坚刚,魏永生. ICP-OES 法分析测定大红袍花椒中的矿质元素[J]. 食品工科技, 2012, 33(4): 73-75.
- [11] 邓振义,樊鸿章,李新安,等. 大红袍花椒营养成分分析[J]. 陕西农业科学, 2006(2): 22-23.
- [12] 李吉锋. 大红袍花椒中微量元素的分析测定[J]. 中国调味品, 2012, 37(7): 87-88.
- [13] 孙丙寅,樊鸿章,康克功,等. 凤椒主要营养成分的研究[J]. 北方园艺, 2005(5): 60-61.
- [14] 吴振,李红,杨勇,等. 基于无机元素的花椒产地溯源和品种聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 213-219.
- [15] 孙本华,赵护兵,同延安. 陕西省土壤有效硫及硫肥使用状况[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(z1): 88-90.
- [16] 李书田,林葆. 土壤中植物有效硫的评价[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 75-83.
- [17] 余存祖,彭琳,彭祥林,等. 黄土区土壤铁的含量及其有效性[J]. 陕西农业科学, 1982(6): 26-28.
- [18] 余存祖,彭琳,彭祥林,等. 黄土区土壤锰素状况与分区[J]. 陕西农业科学, 1982(4): 30-32.
- [19] 余存祖,彭琳,彭祥林,等. 土壤有效锰(DTPA-Mn)的应用评价与临界值的探讨[J]. 土壤学报, 1984, 21(3): 277-283.
- [20] 胡承孝,王云华,魏文学. 植物钼营养和施用钼肥的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 1999, 18(z28): 241-247.

- [21] 杨升. 土壤中钼的比色测定[J]. 安徽地质, 2017, 27(2): 143-146.
- [22] 陈勇. 原子吸收光谱法在土壤农化分析中的应用[J]. 南方农业, 2015, 9(21): 252-253.
- [23] 人人文库网. 全国第二次土壤普查养分分级标准[DB/OL]. <https://www.renrendoc.com/p-33877430.html>, 2019-12-24.
- [24] 蔡祖聪, 钦绳武. 作物 N、P、K 含量对于平衡施肥的诊断意义[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 473-478.
- [25] 韩世忠, 郑雄, 马红亮, 等. 不同园林树种叶片 N·P·K 养分内吸收作用[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(25): 10319-10322, 10355.
- [26] 姚允聪, 王有年, 张瑞. 不同 N、P、K 肥施用比例对苹果产量影响的研究[J]. 北京农学院学报, 1992, 7(2): 166-171.
- [27] 周继芬, 杨雅婷, 李兴发, 等. 不同氮、磷、钾、钙水平对脐橙产量及果实品质的影响[J]. 西南师范大学学报, 2015, 40(2): 54-58.
- [28] 郝国伟, 白牡丹, 高鹏, 等. 氮、磷、钾配比施肥对玉露香梨果实品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2017, 37(1): 23-27.
- [29] 张翼, 张根峰, 曹雪梅. 施磷量对旱作区小麦产量及氮、磷、钾利用效率的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(7): 29-31, 47.
- [30] 曹永慧. 夏玉米氮、磷、钾丰缺指标研究[J]. 河南农业, 2013(5): 24-25.
- [31] 黄忠财. 泰宁县水稻土壤氮、磷、钾丰缺指标初步研究[J]. 南方农业, 2014, 8(24): 146-148.
- [32] 自由路. 植物营养与肥料研究的回顾与展望[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3477-3492.
- [33] 赵娟, 杨军, 赖娜娜, 等. 古侧柏林土壤和植物营养元素含量与树势相关性研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(13): 9-13.
- [34] 王云德, 黎绍云, 杨宗飞. 杂交玉米氮磷钾养分测土配方施肥肥料效应研究[J]. 农业与技术, 2017, 37(20): 9-11, 153.
- [35] 张玉铭, 毛任钊, 胡春胜. 太行山前平原土壤养分分布特征与肥料精准管理研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 116-120.
- [36] 唐菁, 杨承栋, 康红梅. 植物营养诊断方法研究进展[J]. 世界林业研究, 2005, 18(6): 45-48.
- [37] 柏方敏, 田大伦, 方晰, 等. 洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征[J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5832-5842.
- [38] 孟庆翠, 刘淑明, 孙丙寅. 配方施肥对花椒产量的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3): 105-108.
- [39] 郝进进, 党玉斌, 罗红娟. 不同施肥对花椒产量的影响[J]. 现代园艺, 2012(20): 7.
- [40] 孙丙寅, 邓振义, 康克功, 等. 不同配方施肥对花椒产量和质量的影响[J]. 陕西农业科学, 2006(1): 7-8, 11.
- [41] 常剑文, 肖彦荣, 田王堂. 花椒施肥试验初报[J]. 河北林业科技, 1992(1): 28-30.
- [42] 何建社, 王志明, 刘千里, 等. 花椒配方施肥试验初报[J]. 四川林业科技, 2016, 37(2): 94-95.
- [43] 谢宗谋, 冯廷敏. 花椒施肥试验初报[J]. 甘肃林业科技, 2005, 30(1): 54-55.
- [44] 李松克, 姜紫勤, 吴彤林, 等. 顶坛花椒的施肥效应[J]. 农技服务, 2011, 28(10): 1439, 1531.
- [45] 张立新, 耿增超, 张朝阳, 等. 韩城市花椒园土壤养分状况及施肥研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 65-67, 72.
- [46] 陈燕霞, 狄彩霞, 王正银, 等. 江津花椒土壤和植株养分状况初步研究[J]. 陕西农业科学, 2008(3): 105-108.
- [47] 王帅, 韩晓飞, 王洋, 等. 九叶青花椒叶片矿质营养元素主要物候期动态变化特征[J]. 西南农业学报, 2018, 31(7): 1456-1461.
- [48] 弥芸, 谢斌, 慈顺, 等. 浅谈测土配方施肥技术在陕西花椒精细栽培中的应用[J]. 农业与技术, 2018, 38(15): 1-4, 166.
- [49] 骆东奇, 白洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202-205.
- [50] 孙艳丽, 王云, 董东平. 鄱陵县花卉土壤养分特征及评价[J]. 热带农业科学, 2015, 35(3): 23-26, 30.
- [51] 赵文. 昌乐县耕地土壤养分评价与施肥对策研究[J]. 山东农业科学, 2014, 46(11): 92-94.
- [52] 杨俐苹, 金继运, 自由路, 等. 土壤养分综合评价法和平衡施肥技术及其产业化[J]. 磷肥与复肥, 2001, 16(4): 61-63.

- [53] 催莉, 朱玉杰, 董希斌. 集对分析法在大兴安岭用材林土壤养分评价中的应用[J]. 森林工程, 2014, 30(1): 9-13.
- [54] 汤洁, 赵凤琴, 林年丰, 等. 多种模型集成的方法在土壤养分评价中的应用[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2005, 37(1): 109-112.
- [55] 祝鑫海, 张远智, 杨少斌. 北京市核心区土壤养分空间变异特征[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2018, 47(5): 580-586.