

小麦秸秆焚烧对土壤有机质及微生物 和玉米产量的影响

李 明, 吴发启, 蒋 碧, 田国成

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 选取不同秸秆量焚烧后的耕层土壤为对象, 研究秸秆焚烧对土壤有机质和微生物的影响, 并探讨秸秆焚烧量与土壤有机质和微生物之间的相关性。结果表明: (1) 秸秆焚烧对土壤有机质和微生物的影响主要集中在 0~5 cm 表层土壤中, 5 cm 以下影响较小。焚烧造成表层土壤有机质含量下降 10.72%~17.08%, 真菌数量下降 43.68%~74.43%, 放线菌数量下降 49.32%~74.83%, 细菌数量下降 58.93%~81.44%。同时还造成下茬玉米产量下降 7.04%~20.63%, 地上生物量下降 9.23%~18.76%。(2) 秸秆焚烧量与土壤细菌、真菌和放线菌数量之间呈显著负相关关系, 秸秆焚烧量与土壤有机质、玉米产量和地上生物量呈极显著负相关关系。

关键词: 秸秆焚烧; 土壤有机质; 土壤微生物; 产量

中图分类号: S151.9⁺3; S151.9⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0095-05

Effects of crops straw burning on soil organic matter, soil microbes and Mean grain yield

LI Ming, WU Fa-qi, JIANG Bi, TIAN Guo-cheng

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Topsoil of different straw burning quantity was studied to investigate the effects of straw burning on organic matter and microbe of topsoil, and to discuss the correlations between straw burning quantity and organic matter and microbe of topsoil. Results showed that: (1) effects of straw burning were mainly exerted in the 0~5 cm top soil while only small effects were investigated in the soil depths below 5cm, and straw burning reduced organic matter, fungi, actinomycetes, bacteria, corn output and overground biomass in the topsoil by the mean of 10.72%~17.08%, 43.68%~74.43%, 49.32%~74.83%, 58.93%~81.44%, 7.04%~20.63% and 9.23%~18.76% respectively; (2) Straw burning quantity has significantly negative correlations with bacteria, fungi and actinomycetes in the topsoil, while has significantly positive correlations with organic matter, corn output and overground biomass in the topsoil.

Keywords: crops straw burning; soil organic matter; soil microbes; Mean grain yield

作物秸秆是农业生产过程中产生的一种重要资源, 由于其含有大量的营养物质, 且在全球能源结构中占据重要位置, 因此, 是当今世界中一种较为重要的生物质资源^[1-4]。中国是农业大国, 秸秆资源丰富。在传统农业生产过程中, 作物秸秆主要是不经任何处理直接用于肥料、燃料和饲料^[5]。近年来, 随着传统农业向现代农业的转变, 农业生产技术与农村经济的持续发展, 人们的生产、生活方式逐渐发生变化, 从而造成了人们对作物秸秆的依赖性明显降低, 进而不可避免地造成了农作物秸秆过剩的问题。

据统计^[5-6], 我国农作物秸秆总量约为 7.2 亿吨, 研究表明^[7], 我国每年农作物秸秆资源中约有 15% 被露地焚烧。露地焚烧能够在短时间内将作物收获后残留的秸秆还田, 但这种利用方式不仅会造成资源浪费, 环境污染, 而且会对土壤环境造成严重破坏。秸秆焚烧伴随着能量和物质的转换过程, 田间燃烧时, 除了释放热量, 还直接向环境排放大量的气体组分 (SO₂, NO_x, NH₃, CH₄, VOC, CO, CO₂ 等) 以及颗粒物状污染物, 不仅对土壤 pH 值、含水量、有机质等产生显著影响, 还会将土壤表层部分的土

收稿日期: 2012-07-05

基金项目: “十二五”国家科技支撑项目 (2012BAD14B11)

作者简介: 李 明 (1988—), 男, 山东蒙阴人, 硕士研究生, 主要从事土地资源利用与管理方面的研究。E-mail: lvq050621@163.com。

通讯作者: 吴发启 (1957—), 男, 陕西黄陵人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与流域管理研究。E-mail: wufaqi@263.net。

壤动物与微生物直接致死,从而使得土壤理化性质发生变化,肥力下降。刘天学、霍宪起等^[8-11]研究表明,秸秆焚烧会造成土壤有机质和微生物量的显著下降,焚烧土壤提取液会造成农作物种子活力下降、幼苗生长受阻等;王爱玲等^[12]研究表明,秸秆焚烧初期的速效 P、K 含量高于直接还田;解爱华等^[13]研究表明,秸秆焚烧造成土壤动物类群落和数量均有不同程度减少,使得土壤动物群落多样性稍有降低。本实验选取种植玉米的土壤为研究对象,对比不同秸秆焚烧量对土壤有机质和微生物量的变化,并探讨秸秆焚烧量与土壤有机质和微生物间的相关性,进而阐述秸秆焚烧对土壤有机质和微生物的影响,以期为推进关中平原循环农业建设提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验区位于关中平原中部的三原县西北农林科技大学三原试验站(E: 108°52', N: 34°36'), 试验于 2011 年 6 月开始至 2012 年 6 月结束,以小麦秸秆焚烧量为变量,采用单因素随机设计。试验设置 4 个处理:(1)秸秆量减量组(SR):焚烧小麦秸秆量为单位面积平均秸秆产量的 50% ($0.24\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$),剩余部分移出实验地块;(2)秸秆量全量组(SN):焚烧小麦秸秆量为单位面积平均秸秆产量 ($0.48\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$);(3)秸秆量增量组(SI):焚烧小麦秸秆量为单位面积平均秸秆产量的 150% ($0.72\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$);(4)对照(CK)不做焚烧处理,按传统收获方式对秸秆进行收割后移出试验地块。每组处理设置 3 个重复,各小区面积均为 25 m^2 (长 10 m, 宽 2.5 m),小区间设置 2.5 m 的保护行,小区田垄采用塑料板隔离以避免相互间影响。田间管理按照当地习惯,采取常规管理。秸秆为小麦收获后的全量秸秆,折合干物质量约为 $4.8\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。原位焚烧的方式参照当地机械收割后焚烧方式,将秸秆平铺成带状后焚烧。

1.2 样品采集与分析

1.2.1 样品采集 2011 年 6 月,按试验设计焚烧小麦秸秆后进行地温监测,待地温恢复正常后(明火熄灭后 0.5 h),按“S”型采样法在不同处理田块采样,采样时每个重复选取 5~6 个点,采土前先除去土样表面的灰分和秸秆,采取 0~5、5~10、10~15、15~20、20~30、30~40 cm 混合土壤样品。采用四分法分取部分新鲜土样进行微生物测定,剩余土样风干至恒重后过筛(0.149 mm),用于土壤有机质测定。

1.2.2 测定方法 土壤有机质的测定采用重铬酸

钾-浓硫酸外加热法^[14];细菌、真菌和放线菌的测定采用稀释平板法,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA),放线菌用改良的高氏一号培养基^[15]。

1.2.3 数据处理方法 借助 DPS7.05 与 SPSS 18.0 软件对试验数据进行统计分析。利用最小显著差数法(LSD 法)分析不同处理土壤有机质和微生物的差异显著性,显著性水平选取 0.05。

2 结果与分析

2.1 秸秆焚烧对土壤有机质的影响

土壤有机质是土壤的重要组成部分之一,土壤的物理、化学、生物等许多属性都直接或间接地与其有关,是衡量土壤肥力的一项重要指标^[16]。因此研究有机质含量的变化是衡量秸秆焚烧对土壤理化性状变化的重要依据。由表 1 可知,无秸秆焚烧条件下,土壤有机质含量随土层深度增加而降低,而受秸秆焚烧的影响,减量处理、正常处理和增量处理中,0~5 cm 表层土壤有机质含量低于 5~10 cm 土壤有机质含量。通过不同土层间对比可知,秸秆焚烧对土壤有机质的影响主要集中在 0~5 cm 土壤表层。与对照(CK)相比,秸秆焚烧造成土壤有机质平均减少 14.56%;5 cm 以下土层,土壤有机质几乎无变化。而且随着秸秆焚烧量增加,土壤有机质含量呈下降趋势,与对照组相比,减量处理组有机质含量下降 10.72%,正常处理组减少了 15.89%,增量处理组减少了 17.08%。

表 1 3 种秸秆焚烧量处理对土壤有机质的影响

Table 1 Effects of three straw burning amount on the soil organic matter

土层深度 Depth /cm	处理 Treatments	有机质 OM /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质 减少 Reduce/%
0~5	SR	$18.82\pm0.03\text{b}$	10.72
	SN	$17.73\pm0.17\text{c}$	15.89
	SI	$17.48\pm0.42\text{c}$	17.08
	CK	$21.08\pm0.31\text{a}$	—
5~10	SR	$20.85\pm0.02\text{a}$	-0.93
	SN	$20.86\pm0.03\text{a}$	-0.95
	SI	$20.63\pm0.09\text{a}$	0.15
	CK	$20.66\pm0.07\text{a}$	—
10~15	SR	$16.92\pm0.05\text{a}$	0.87
	SN	$17.30\pm0.06\text{a}$	-1.37
	SI	$16.68\pm0.09\text{a}$	2.26
	CK	$17.07\pm0.11\text{a}$	—

注:表中同列数字后不同字母代表不同施肥处理间在 5% 置信水平下差异显著。下同。

Note: Values in same column followed by a different letter are significant difference at 5% level among the treatments. The same as flow.

2.2 秸秆焚烧对土壤微生物的影响

土壤微生物数量的多少,是反映土壤肥力高低的重要指标,是衡量土壤肥力高低的一个重要生物学标志^[17]。由表 2 可知,无秸秆焚烧条件下,随着土壤深度增加,土壤微生物含量呈下降趋势。而减量处理、正常处理和增量处理中,由于秸秆焚烧产生的热量将土壤表层大量微生物杀死,导致 0~5 cm 表层土壤微生物量与 5~10 cm 土层微生物量出现相反趋势。通过不同土层间对比可知,由于土壤对

热的传递能力较差,所以秸秆焚烧仅能影响到表层 0~5 cm 土壤。0~5 cm 土层中,土壤真菌、放线菌和细菌平均减少 59.92%、63.38%和 70.29%。且随着秸秆焚烧量的变化,0~5 cm 表层土壤微生物出现显著差异。减量处理、正常处理和增量处理 3 组处理较对照组,土壤真菌数量分别减少 43.68%、61.64%和 74.43%,放线菌数量分别减少 49.32%、65.98%和 74.83%,细菌数量分别减少 58.93%、70.50%和 81.44%。

表 2 3 种秸秆焚烧量处理对土壤微生物的影响
Table 2 Effects of crops straw burning on soil microbes

土层深度 Depth/cm	处理 Treatments	细菌 Bacteria/(10 ⁶ 个·g ⁻¹)		真菌 Fungi(10 ³ 个·g ⁻¹)		放线菌 Actinomycetes(10 ⁵ 个·g ⁻¹)	
		数量 Number	死亡率/% Inactivation rate	数量 Number	死亡率/% Inactivation rate	数量 Number	死亡率/% Inactivation rate
0~5	SR	219.00±0.51b	58.93	13.07±0.07b	43.68	99.33±2.14b	49.32
	SN	157.30±2.52c	70.50	8.87±0.08c	61.64	66.67±1.68c	65.98
	SI	99.00±3.00d	81.44	5.93±0.08d	74.43	49.33±1.07d	74.83
	CK	533.30±2.19a	—	23.02±0.07a	—	196.00±4.00a	—
5~10	SR	466.67±2.05a	1.41	14.67±0.72a	3.49	104.67±1.69a	1.87
	SN	476.67±1.21a	-0.71	15.07±0.05a	0.86	107.33±1.01a	-0.62
	SI	458.00±1.32a	3.24	14.80±0.21a	2.63	102.67±0.98a	3.75
	CK	473.33±1.62a	—	15.20±0.07a	—	106.67±0.31a	—
10~15	SR	416.67±0.97a	0.79	10.33±0.09a	-1.27	78.00±0.23a	1.68
	SN	414.67±1.56a	1.27	10.47±0.08a	-2.65	78.67±0.50a	0.83
	SI	413.33±1.84a	1.59	10.80±0.06a	-5.88	78.67±0.45a	0.83
	CK	420.00±2.06a	—	10.20±0.08a	—	79.33±0.25a	—

2.3 秸秆焚烧量与玉米产量的关系

由表 3 可知,受不同秸秆焚烧量的影响,下茬玉米产量与地上生物量出现显著性差异,减量处理,正常处理和增量处理 3 组处理中玉米产量较对照组降低了 7.04%、15.15%和 20.63%;地上生物量较对照组降低了 9.23%、15.96%和 18.76%。可见秸秆焚烧量的变化对作物产量和地上生物量均造成了显著影响,对粮食生产造成了显著危害。

表 3 3 种秸秆焚烧量处理对下茬玉米产量和地上生物量的影响

Table 3 Effects of three straw burning amount on the grain yield and above ground biomass of corn

处理 Treatments	玉米产量 Mean grain yield (t·hm ⁻²)	减少 Reduce /%	地上生物量 Mean aboveground biomass (t·hm ⁻²)	减少 Reduce /%
SR	5.68±0.02b	7.04	10.84±0.09b	9.23
SN	5.28±0.01c	15.15	10.21±0.12c	15.96
SI	5.04±0.02d	20.63	9.97±0.04c	18.76
CK	6.08±0.03a	—	11.84±0.31a	—

2.4 秸秆焚烧量与土壤有机质、微生物与玉米产量变化的相关分析

秸秆焚烧量与土壤有机质、微生物与玉米产量变化的相关系数见表 4。从表中可以看出,秸秆焚烧量与土壤有机质、微生物在 0~5 cm 深度呈现显著负相关关系,且有机质呈极显著的相关关系。而在 5 cm 以下土层,秸秆焚烧量与土壤有机质、微生物的相关性均不显著,这说明秸秆焚烧对土壤有机质和微生物的影响仅限于土壤表层几厘米范围,对深层土壤几乎无影响。同时由表 4 可知,秸秆焚烧量与玉米产量和地上生物量之间呈极显著负相关关系,说明随着秸秆焚烧量的增加,焚烧对土壤环境造成的破坏加剧,造成下茬作物产量和地上生物量的显著下降。

为了探讨不同秸秆焚烧量条件下,土壤有机质、微生物、玉米产量和地上生物量的变化规律。本文以单位面积焚烧秸秆的数量为自变量(x , kg·m⁻²),有机质含量(y_1 , g·kg⁻¹)、细菌数量(y_2 , 10⁷ 个·g⁻¹土)、真菌数量(y_3 , 10³ 个·g⁻¹土)、放线菌(y_4 , 10⁶ 个·g⁻¹土)、玉米产量(y_5 , kg·m⁻²)、地上生物量

($\gamma_6, \text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)为因变量,运用 DPS 7.05 软件进行回归分析。回归方程见表 5。

表 4 秸秆焚烧量与不同土层土壤有机质、微生物、玉米产量和地上生物量之间的相关关系

Table 4 The corrlativity between crops straw burning amount and soil organic matter, soil microbes, Mean grain yield and mean aboveground biomass

指标 Index	焚烧量 Crops straw burning amounts 土层 Soil depth/cm		
	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 15
有机质 OM.	- 0.934 * *	0.086	- 0.648
细菌 Bacteria	- 0.909 *	- 0.564	- 0.880
真菌 Fungus	- 0.959 *	- 0.425	0.770
放线菌 Actinomyces	- 0.932 *	- 0.573	- 0.331
玉米产量 Mean grain yield		- 0.995 * *	
地上生物量 Mean aboveground biomass		- 0.987 * *	

注: * 和 * * 代表在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平显著性相关。
Note: * and * * stand for significance at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

表 5 秸秆焚烧量与表层土壤有机质、微生物和作物产量的回归方程

Table 5 Regression equation of crops straw burning amounts with soil organic matter, soil microbes, Mean grain yield and mean aboveground biomass

项目 Item	回归方程 Regression equation	决定系数 Decided to coefficient
有机质 OM.	$y_1 = 23.3521e^{-0.2578x}$	$R^2 = 0.8872$
细菌 Bacteria	$y_2 = 46.2838e^{-2.2445x}$	$R^2 = 0.9543$
真菌 Fungus	$y_3 = 22.3280e^{-1.6875x}$	$R^2 = 0.9445$
放线菌 Actinomyces	$y_4 = 17.6678e^{-1.8906x}$	$R^2 = 0.9649$
玉米产量 Mean grain yield	$y_5 = 0.6057e^{-0.2650x}$	$R^2 = 0.9919$
地上生物量 Mean aboveground biomass	$y_6 = 1.1655e^{-0.2400x}$	$R^2 = 0.9408$

由此可知,随着秸秆焚烧量的增加,土壤有机质、微生物、玉米产量和地上生物量均出现不同程度的减少,且减少量与秸秆焚烧量相关性密切。

3 讨 论

本研究结果表明,随着秸秆焚烧量的增加,表层土壤有机质含量的显著下降,对 5 cm 以下土壤有机质的影响甚少,这与 Neff J C、Certini G、黄兆琴等研究基本一致^[18-20],这说明随着焚烧量的增加,焚烧所释放的热量增加,而有机质受热量变化影响发生不同程度分解。同时研究结果表明,土壤有机质的变化与秸秆焚烧量有关,这与 Hartford、Campabell、

Gillon 等研究结果吻合^[21-23]。土壤微生物作为反映土壤环境变化的最敏感的生物指标之一,其微小的变动都会引起土壤生态系统的多样性变化^[24]。本研究结果表明,随着秸秆焚烧量的增加,表层土壤中的微生物的数量均出现显著下降,这说明短时间内的秸秆焚烧对土壤环境造成了极大破坏,且不同的秸秆焚烧量对土壤环境的影响也不尽相同,这与王爱玲、刘天学等研究结果基本一致^[10,12]。

王爱玲、沈裕琥、石生伟等研究发现^[12,25-26],秸秆焚烧量的增加会造成作物产量和地上生物量的显著下降,这与本文的研究结果吻合。秸秆焚烧量的增加,焚烧对土壤环境的破坏程度加剧,造成下茬作物出苗率低,苗期延长,茎秆矮小等问题,进而影响到了作物的产量及地上生物量。

4 结 论

通过秸秆焚烧后对土壤环境的影响的实验结果分析得出:

1) 秸秆焚烧对土壤环境的影响主要集中于表层土壤。通过减量处理、正常处理和增量处理 3 组处理与对照组(CK)对比可知,秸秆焚烧对土壤有机质、微生物影响仅限于表层 0 ~ 5 cm 土壤,对 5 cm 以下土层土壤环境的影响不大。其中土壤有机质含量下降 10.72% ~ 17.08%,真菌数量下降 43.68% ~ 74.43%,放线菌数量下降 49.32% ~ 74.83%,细菌数量下降 58.93% ~ 81.44%,进而造成玉米产量下降 7.04% ~ 20.63%,地上生物量下降 9.23% ~ 18.76%。

2) 秸秆焚烧对表土层土壤有机质、微生物、玉米产量和地上生物量的影响程度与秸秆焚烧量有关。秸秆焚烧量与有机质、细菌、真菌、放线菌、产量和地上生物量之间均呈显著的负相关关系。

参 考 文 献:

[1] 瑞 芹.生物质衍生的燃料和化学物质[M].河南:郑州大学出版社,2004.

[2] U S. Department of Energy. Annual Energy Outlook 2005: with Projections to 2025[R]. Washington: Energy Information Administration, 2005.

[3] Peter M. Energy production from biomass (Part 1): over view of biomass[J]. Bioresource Technology,2002,83:37-46.

[4] Levine J S. Global biomass burning: atmospheric, climate, and bio-spheric implications[M]. Boston: MIT Press,1991:3-21.

[5] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J].农业工程学报,2002,18(3):87-91.

[6] 曹国良,张小曳,王 丹,等. 秸秆露天焚烧排放的 TSP 等污染物清单[J].农业环境科学学报,2005,24(4):800-804.

[7] 杜祥琬.中国可再生能源发展战略研究丛书(综合卷)[M].北京:中国电力出版社,2008.

- [8] 刘天学,赵贵兴,杨青春. 秸秆焚烧土壤提取液对大豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 大豆科学, 2005, 24(1): 67-70.
- [9] 刘天学,常加忠,李敏,等. 秸秆焚烧土壤提取液对大豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 252-255.
- [10] 刘天学,纪秀娥. 焚烧秸秆对土壤有机质和微生物的影响研究[J]. 土壤, 2003, 35(4): 347-348.
- [11] 霍宪起. 秸秆焚烧对玉米幼苗及根际微生物的影响[J]. 湖南农业科学, 2009, (11): 27-29.
- [12] 王爱玲,高旺盛,洪春梅. 华北灌溉区秸秆焚烧与直接还田生态效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 142-144.
- [13] 解爱华,付荣恕. 秸秆焚烧对农田土壤动物群落结构的影响[J]. 山东农业科学, 2006, (3): 56-57.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [15] 程丽娟,薛泉宏. 微生物学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [16] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- [17] 陈文新. 土壤和环境微生物学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990.
- [18] Neff J C, Harden J W, Gleixner G. Fire effects on soil organic matter content, composition, and nutrients in boreal interior Alaska[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35(9): 2178-2187.
- [19] Certini G. Effect of fire on properties of forest soils: a review[J]. Cologia, 2005, 143(1): 1-10.
- [20] 黄兆琴,胡林潮,史明,等. 水稻秸秆燃烧对土壤有机质组成的影响研究[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 60-67.
- [21] Hartford R A, Frandsen W H. Surface flaming may not portend extensive soil heating[J]. International Journal of Wildland Fire, 1991, 2(3): 139-144.
- [22] Campbell G S, Jungbauer J D Jr, Bidlake W R, et al. Predicting the effect of temperature on soil thermal conductivity[J]. Soil Science, 1994, 158(5): 307-313.
- [23] Gillon D, Gomendy V, Houssard C, et al. Combustion and nutrient losses during laboratory burns[J]. International Journal of Wildland Fire, 1995, 5(1): 1-12.
- [24] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to incorporation[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19: 159-164.
- [25] 沈裕琥,黄相国,王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 45-50.
- [26] 石生伟,李玉娥,李明德,等. 早稻秸秆原位焚烧对红壤晚稻田 CH_4 和 N_2O 排放及产量的影响[J]. 土壤, 2011, 43(2): 184-189.

(上接第 88 页)

结果表明,渭北旱塬区红富士苹果园除产量高于 $41.3 \text{ kg} \cdot \text{tree}^{-1}$ 需肥顺序排在第一位的为 Cu 外,其它均为 P;需肥顺序排在第二位的高产为 K,低产果园只有产量低于 $10.2 \text{ kg} \cdot \text{tree}^{-1}$ 时为 K,其余为 Zn;而排在第三位的,高产均为 Ca,低产均为 Mg。并提出了红富士苹果果实膨大前期叶片营养 DRIS 诊断参数,此研究结果对果树后期追肥具有指导意义。供试样本量多少是诊断准确性的关键,有待随着样本量增加和试验年份延长,并结合其他诊断方法进行进一步研究。

参考文献:

- [1] 陕西省统计局. 2010 年陕西省果业发展统计公报[EB/OL]. <http://www.sn.stats.gov.cn/news/qsgb/201132390305.htm>.
- [2] 孙蕾. 渭北地区果园土壤质量演变趋势[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [3] 仝月澳,周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1982: 58-106.
- [4] 耿增超,张立新,赵二龙,等. 陕西红富士苹果矿质营养 DRIS 标准研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(8): 1422-1428.
- [5] 李港丽,苏润宇,沈隽. 几种落叶果树叶内矿质元素含量标准值的研究[J]. 园艺学报, 1987, 14(2): 81-89.
- [6] 李港丽,苏润宇,沈隽. GB7171-87. 果树叶样标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.
- [7] Beaufils E R. Diagnosis and recommendation integrate system (DRIS)[J]. Soil Science Bulletin, 1973, (1): 120-132.
- [8] Maurão Filho F A A. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops[J]. Sci Agric, 2004, 61(5): 550-560.
- [9] Summer M E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield level[J]. Common Soil Sci Plant Anal, 1977, 8: 251-268.
- [10] 黄宗玉. 诊断施肥综合法 (DRIS) 的原理与应用问题[J]. 土壤学进展, 1990, 18(1): 22-26.
- [11] 刘红霞,张会民,郭大勇,等. 豫西地区红富士苹果叶片营养诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 457-462.
- [12] 姜远茂. 红富士苹果矿质营养特性及营养诊断与施肥研究[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2001.
- [13] 李国良,姚丽贤,付长营,等. 香蕉营养诊断的 DRIS 标准的初步研究[J]. 中国土壤与肥料, 2008, (3): 74-77.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263-282.
- [15] Walworth J L, Summer M E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)[J]. Adv Soil Sci, 1987, 6: 149-188.
- [16] 许敏. 陕西省渭北红富士苹果叶片营养诊断与评价研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2010.
- [17] 李保国,徐爱春,齐国辉,等. 红富士苹果叶片主要矿质元素含量变化规律研究[J]. 河北林果研究, 2006, 21(3): 296-299.
- [18] Nachtigall G R, Dechen A R. DRIS Use on apple orchard nutritional evaluation in response to potassium[J]. Common Soil Sci Plant Anal, 2007, 38(17/18): 2557-2566.
- [19] 安贵阳,史联让,杜志辉,等. 陕西地区苹果叶营养元素标准范围的确定[J]. 园艺学报, 2004, 31(1): 81-83.
- [20] 安贵阳. 苹果叶营养元素含量的标准值及其影响因素研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2004.
- [21] 曾艳娟. 施肥对红富士苹果产量和品质的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [22] 隋鹏飞,史进元,李文祥. 陕西省红富士苹果果园施肥调查[J]. 中国土壤与肥料, 1995, (6): 35-37.