

# 北京苹果主产区果园土壤理化性状和果实品质评价分析

张 强<sup>1</sup>, 魏钦平<sup>1,\*</sup>, 蒋瑞山<sup>2</sup>, 刘旭东<sup>2</sup>, 刘惠平<sup>2</sup>, 王小伟<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093; <sup>2</sup>北京市昌平区林业局, 北京 102200)

**摘 要:** 2008—2009 年, 通过对北京苹果主产区昌平区 46 个成龄‘富士’苹果园土壤物理性状、养分含量及果实品质和矿质营养含量的调查, 结合国内外相关指标参数进行了等级划分, 分析调查果园在土壤理化性状和果实品质存在的问题。结果表明: 56.14% 的果园 20 ~ 40 cm 土层的土壤容重偏高, 20% 左右的果园土壤孔隙度在 45% 以下, 15.51% 的果园土壤 pH 大于 7.5; 96% 以上的苹果园土壤有机质大于 10.0 g · kg<sup>-1</sup>, 多数园土壤全氮、碱解氮和有效磷含量丰富, 30% ~ 40% 的果园土壤有效钾、钙和铁的含量偏低; 76.47% 果园的果实可溶性固形物含量高 (14%), 50% 的果园需要提高果实单果质量; 90% 的果园果实中的氮含量高于 0.30 g · kg<sup>-1</sup>, 而钙含量在 80 mg · kg<sup>-1</sup> 以下的果园占 65%。改良土壤、调节部分果园土壤 pH 和 20 cm 土层以下土壤容重, 增加土壤有效钾、钙和铁的含量等是今后果园管理的重点工作。

**关键词:** 苹果; 果园; 土壤; 理化性状; 果实; 品质; 果实矿质营养

**中图分类号:** S 661.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2011) 11-2180-07

## Evaluation and Analysis of Soil Physicochemical Characteristics and Fruit Quality in Main Apple Production Regions of Beijing

ZHANG Qiang<sup>1</sup>, WEI Qin-ping<sup>1,\*</sup>, JIANG Rui-shan<sup>2</sup>, LIU Xu-dong<sup>2</sup>, LIU Hui-ping<sup>2</sup>, and WANG Xiao-wei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>*Institute of Forestry & Pomology, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing 100093, China;* <sup>2</sup>*Forestry Bureau of Changping District in Beijing, Beijing 102200, China*)

**Abstract:** The total of 46 soil (0–40 cm) and fruit samples from fructiferous apple orchards in Changping district of Beijing were collected and classified to assess difference in the physicochemical properties of soils, soil nutrient content, fruit quality and mineral element content among different apple orchards from 2008 to 2009. The results showed that 56.14% orchard soil (20–40 cm) were higher in soil bulk density, 20% orchard soil porosity was under 45%, 15.51% orchard soil pH was greater than 7.5. The 96% orchard soil was higher than 10.0 g · kg<sup>-1</sup> in soil organic matter (SOM), nearly all the orchard soil were sufficient in total N, alkaline-N and available P, while 30%–40% orchard soil were low in available K, Ca and Fe. The 76.47% orchard was above 14% in soluble solids, while 50% apple orchard must be increased in per fruit mass. The 90% orchard in nitrogen content of fruit were higher than 0.30 g · kg<sup>-1</sup>,

收稿日期: 2011-05-16; 修回日期: 2011-10-08

基金项目: 国家苹果产业技术体系建设专项 (nycyt-08-02-02); 公益性行业 (农业) 科研专项 (nyhyzx07-024)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: qpwei@sina.com)

while 65% orchard in calcium content of fruit were lower than  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . They will be important works to improve soil conditions, reduce soil pH and soil buck density, increase soil available K, Ca and Fe in orchard soil management.

**Key words:** apple; soil; physicochemical characteristics; fruit; quality; fruit mineral nutrition

昌平是北京苹果主要生产区, 现有苹果栽培面积  $2\,270 \text{ hm}^2$ , 近几年通过推广以土壤改良和培肥地力为基础, 成龄苹果园树体结构改造和高光能利用为调节, 精细花果管理相配套的有机栽培管理技术, 苹果品质和经济效益有了较大提高。但是, 由于苹果种植以家庭为主体, 不同种植户间在果实品质和效益方面差异较大, 增加高质量、高效益苹果园的比例是昌平苹果生产的关键问题。

土壤是苹果生产的基础, 土壤的物理性状直接影响果园土壤的通气性、保水能力和根系对养分的吸收利用及生物活性等(束怀瑞, 1999)。苹果适宜的土壤 pH 为  $6.5 \sim 7.5$ , pH 小于 6.0 时, 许多必需的大量元素(N、P、K、Ca、Mg)被果树根系吸收利用较低, pH 大于 7.5 时, 许多微量元素(Fe、Zn、B)也不能被果树根系吸收利用(Denise & Gerry, 2009)。果树工作者在苹果园土壤营养与果实品质(Dris et al., 1998; 李保国 等, 2002; 刘子龙 等, 2006; 彭福田和姜远茂, 2006; Khattak & Hussain, 2007; 王海云 等, 2008; Denise & Gerry, 2009; Siddique et al., 2009; 张强 等, 2011)、果实矿质营养含量与贮藏生理病害(Hilmelroch & Walker, 1982; Ferguson & Watkins, 1992)、金冠苹果果实矿质营养组成与果实品质特性的关系(Peryea, 1990; Fallahi & Brenda, 1996; Dris et al., 1999; Fallahi et al., 2001; Palmer & Dryden, 2006)等方面做了大量的研究工作。作者通过对北京市昌平区苹果园土壤物理性状、养分含量及果实品质和果实矿质营养含量的调查, 结合国内外苹果园土壤理化性状和果品质量特点等, 探讨不同果园土壤性状、养分含量和果品质量等方面存在的问题, 为果园土壤改良、合理施肥、提高苹果果实品质和效益提供理论依据。

## 1 材料与方法

2008 年 6 月—2009 年 11 月在北京市昌平区选择管理水平中等偏上的成龄苹果园 46 个, 每个果园面积  $0.6 \text{ hm}^2$  以上, 主栽品种为宫藤富士 (*Malus domestica* Borkh. 'Red Fuji'), 砧木为八楞海棠 (*M. micromalus* Makino), 授粉品种为王林, 树龄 15 ~ 20 年生, 株行距为  $3 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。

每年 6—8 月间, 每个果园定点选择 3 个取样小区, 每个小区选择 3 株树, 分别在每株树冠东、西、南、北 4 个方位外缘垂直向内 50 cm 处用环刀法取 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤, 分析土壤容重、比重和孔隙度; 用土钻采集 0 ~ 40 cm 土层土壤, 把每个取样小区的土样混合均匀, 弃去植物残体后过 2 mm 筛, 风干后的土壤分别用高温外加热重铬酸钾氧化—容量法测定土壤有机质, 凯氏定氮法测定土壤全氮, 碱解扩散法测定碱解氮, 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定有效磷, 乙酸铵浸提—火焰光度计法测定有效钾, 醋酸钠浸提—原子吸收法分析有效钙, DTPA 浸提—原子吸收分光光度法分析有效铁和锌, 沸水浸提—甲亚胺—H 酸比色法分析有效硼, 电位计法测定土壤 pH。

在果实成熟期, 分别在土壤取样树的树冠东南方位取 5 个果实, 每个果园共取 45 个左右, 当天带回实验室, 用百分之一天平称量单果质量, GY-1 型果实硬度计测量果实硬度, PR-100 型数字糖度计测定可溶性固形物,  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 中和滴定法测定可滴定酸含量;  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消解—凯氏蒸馏法测定果实全氮,  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消解—钼钼黄比色法测定全磷,  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消解—火焰光度法测定全钾,  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  消解—原子吸收分光光度法测定全钙、铁和锌, 干灰化—甲亚胺—H 酸比色法测定全硼。应用 Excel 和 SAS 软件 ANOVA 方法对果园 2 年的土壤理化性状、土壤养分及果实品质和矿质营养数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤物理性状

从表 1 可看出, 果园 0 ~ 40 cm 土层平均土壤容重为 1.46 ~ 1.52 g · cm<sup>-3</sup>, 比重为 2.86 ~ 2.93 g · cm<sup>-3</sup>, 孔隙度为 46.90 ~ 51.60%, 从表 2 可看出土壤平均 pH 为 7.25; 而国内外良好果园土壤为容重 1.2 ~ 1.5 g · cm<sup>-3</sup>, 孔隙度 50% 左右, pH 6.5 ~ 7.5 的水平。

表 1 果园土壤物理性状  
Table 1 Survey data of soil physical property in apple orchards

土层/ cm Soil layer	土壤容重/(g · cm <sup>-3</sup> ) Soil buck density				土壤比重/(g · cm <sup>-3</sup> ) Soil specific gravity				土壤孔隙度/% Soil porosity			
	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 STD	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 STD	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 STD
0 ~ 20	1.46	1.06	1.85	0.16	2.93	1.77	4.15	0.53	51.60	32.00	67.00	8.66
20 ~ 40	1.52	1.06	1.88	0.18	2.86	1.81	3.48	0.44	46.90	33.00	69.00	8.18

表 2 果园土壤 pH 状况  
Table 2 Survey data of soil pH in apple orchards

土层/cm Soil layer	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 STD
0 ~ 40	7.25	6.45	8.25	0.34

对昌平不同苹果园土壤物理性状统计分析(表 3)表明, 0 ~ 20 cm 土层土壤容重在 1.2 ~ 1.5 g · cm<sup>-3</sup> 的占 59.65%; 20 ~ 40 cm 土层仅占 38.60%, 50.88% 的果园土壤容重在 1.5 ~ 1.8 g · cm<sup>-3</sup>, 说明一半以上的果园还需要加强 20 ~ 40 cm 土层的土壤改良, 通过降低土壤容重, 提高果园的肥水保持能力。0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层的孔隙度在 45% ~ 55% 范围的果园数量分别占果园总数的 42.10% 和 63.15%; 约 20% 左右的果园土壤孔隙度较低。

表 3 不同水平土壤物理性状的果园比例  
Table 3 Proportion of different levels in soil physical property for apple orchards /%

土层/cm Soil layer	土壤容重/(g · cm <sup>-3</sup> ) Soil buck density				土壤比重/(g · cm <sup>-3</sup> ) Soil specific gravity				土壤孔隙度/% Soil porosity			
	< 1.2	1.2 ~ 1.5	1.5 ~ 1.8	> 1.8	< 2.0	2.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	> 4.0	< 40	40 ~ 45	45 ~ 55	> 55
0 ~ 20	3.51	59.65	33.33	3.51	1.75	50.88	45.62	1.75	8.77	10.53	42.10	38.60
20 ~ 40	5.26	38.60	50.88	5.26	5.26	56.14	38.60	0	10.53	12.28	63.15	14.04

从图 1 看出, 土壤 pH 为 6.5 ~ 7.5 的果园占果园总数的 81.04%; pH 大于 7.5 的果园占 15.51%, 降低这部分果园的土壤 pH 是提高肥料利用效率的关键。

2.2 土壤养分

从表 4 可看出, 土壤有机质大于 10.0 g · kg<sup>-1</sup> 的果园占 96.55%, 土壤有机质含量小于 10.0 g · kg<sup>-1</sup> 的果园仅有 3.45%, 而大于 20.0 g · kg<sup>-1</sup> 的果园占 46.55%, 说明近几年来昌平推广土壤改良、培肥地力的技术后, 苹果园土壤

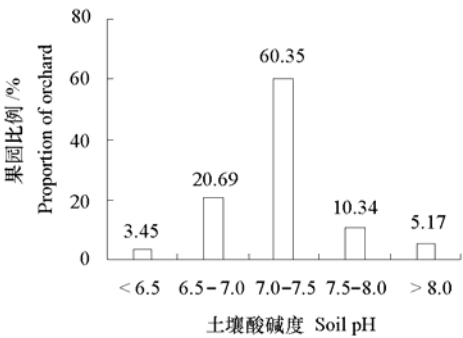


图 1 土壤 pH 不同梯度的果园比例  
Fig. 1 Proportion of different levels in soil pH for apple orchards

有机质含量与其他苹果主产区(武怀庆, 2005; 刘子龙 等, 2006; 王海云 等, 2008)相比有了较大的提高。土壤全氮含量小于  $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的果园占 22.41%, 75.87% 的果园土壤全氮含量在  $1.0 \sim 2.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 72.41% 的果园碱解氮含量在  $75 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 79.31% 的果园土壤有效磷含量大于  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 34.48% 的果园土壤有效钾含量小于  $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 25.86% 果园土壤有效钙含量小于  $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 41.38% 的果园土壤有效铁含量小于  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

根据昌平苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析和优化方案的研究结果(张强 等, 2011), 判断昌平区多数苹果园土壤全氮、碱解氮和有效磷含量丰富, 仍有 30% ~ 40% 的果园需要提高土壤有效钾、钙和铁的含量。

表 4 不同水平土壤养分含量的果园比例

Table 4 Proportion of different levels in soil nutrients contents for apple orchards

土壤养分因子 Factors of soil nutrient	养分含量范围 Extent of nutrient contents	果园比例/% Proportion of orchard	土壤养分因子 Factors of soil nutrient	养分含量范围 Extent of nutrient contents	果园比例/% Proportion of orchard
有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 10.0	3.45	有效钙/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 1.50	1.72
O. M.	10.0 ~ 20.0	50.00	Avail Ca	1.5 ~ 2.5	24.14
	20.0 ~ 30.0	39.66		2.5 ~ 3.5	58.62
	> 30.0	6.89		> 3.5	15.52
全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 1.0	22.41	有效铁/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 10	1.72
Total N	1.0 ~ 1.5	46.55	Avail Fe	10 ~ 20	39.66
	1.5 ~ 2.0	29.32		20 ~ 30	31.03
	> 2.0	1.72		> 30	27.59
碱解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 75	17.24	有效锌/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 2.0	8.62
Alkaline-N	75 ~ 125	41.38	Avail Zn	2.0 ~ 8.0	48.28
	125 ~ 200	31.03		8.0 ~ 14.0	32.76
	> 200	10.35		> 14.0	10.34
有效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 100	20.69	有效硼/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 0.2	5.17
Avail P	100 ~ 200	34.48	Avail B	0.2 ~ 0.5	39.66
	200 ~ 300	29.31		0.5 ~ 1.0	46.55
	> 300	15.52		> 1.0	8.62
有效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	< 200	34.48			
Avail K	200 ~ 300	32.76			
	300 ~ 400	15.52			
	> 400	17.24			

## 2.3 果实品质

昌平区富士苹果的平均单果质量、果实硬度和可溶性固形物含量分别为  $258.7 \text{ g}$ 、 $8.51 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$  和 15.06%。

不同果实品质指标占果园的比例见表5, 平均单果质量小于  $250 \text{ g}$  果园数占 49.99%, 说明近一半的果园还需要提高果实单果质量; 果实可溶性固形物含量大于 14% 的果园数占调查果园数的 76.47%, 果实可滴定酸含量在 0.25% ~ 0.35% 范围的果园占 67.65%, 说明多数果园的内在品质和风味方面基本良好, 还有近 1/3 的果园需要在提高果实品质方面加强栽培管理工作。

表 5 富士苹果不同品质属性的果园比例  
Table 5 Proportion of different attributes of fruit quality for ‘Fuji’ apple orchards

品质属性	属性范围	果园比例/%	品质属性	属性范围	果园比例/%
Attributes of fruit quality	Boundary of attributes	Proportion of orchard	Attributes of fruit quality	Boundary of attributes	Proportion of orchard
单果质量/g	< 200	14.70	可溶性固形物/%	< 12	2.94
Mass per fruit	200 ~ 250	35.29	Soluble solids	12 ~ 14	20.59
	250 ~ 300	41.18		14 ~ 16	47.06
	> 300	8.83		> 16	29.41
硬度/(kg · cm <sup>-2</sup> )	< 7.5	8.83	可滴定酸/%	< 0.25	23.53
Firmness	7.5 ~ 8.5	41.17	Titrateable acidity	0.25 ~ 0.30	41.18
	8.5 ~ 9.5	41.17		0.30 ~ 0.35	26.47
	> 9.5	8.83		> 0.35	8.82

2.4 果实矿质营养

参考苹果矿质营养成分含量、有机果园和转换期苹果园果实矿质营养含量与贮藏生理病害发生的阈值等基本数据（Elenade et al., 2005; Cassandro et al., 2008; Denise & Gerry, 2009），将果实矿质营养含量分为 4 个等级（表 6）。除果实全钾含量有 10.00%的果园小于最低阈值外，其它矿质元素含量均在阈值以上，但 90%的果园果实中全氮含量高于 0.30 g · kg<sup>-1</sup>，而全钙含量在 80 mg · kg<sup>-1</sup> 以下的果园占 65%，防止果实高的氮/钙也是今后果园管理中值得重视的工作。

表 6 富士果实不同矿质营养含量的果园比例  
Table 6 Proportion of different mineral nutrient contents for ‘Fuji’ apple orchards

果实矿质营养	营养范围	果园比例/%	果实矿质营养	营养范围	果园比例/%
Mineral nutrient of fruit	Limit of nutrient	Proportion of orchard	Mineral nutrient of fruit	Limit of nutrient	Proportion of orchard
全氮/(g · kg <sup>-1</sup> )	< 0.15	0	全铁/(mg · kg <sup>-1</sup> )	< 2.5	0
Total N	0.15 ~ 0.30	10.00	Total Fe	2.5 ~ 5.0	60.00
	0.30 ~ 0.45	75.00		5.0 ~ 7.5	20.00
	0.45 ~ 0.65	15.00		> 7.5	20.00
全磷/(g · kg <sup>-1</sup> )	< 0.10	0	全锌/(mg · kg <sup>-1</sup> )	< 0.15	0
Total P	0.10 ~ 0.15	60.00	Total Zn	0.15 ~ 0.3	55.00
	0.15 ~ 0.20	40.00		0.30 ~ 0.45	35.00
	> 0.20	0		> 0.45	10.00
全钾/(g · kg <sup>-1</sup> )	< 1.0	10.00	全硼/(mg · kg <sup>-1</sup> )	< 3.0	0
Total K	1.0 ~ 1.3	75.00	Total B	3.0 ~ 4.5	40.00
	1.3 ~ 1.6	15.00		4.5 ~ 6.0	50.00
	> 1.6	0		> 6.0	10.00
全钙/(mg · kg <sup>-1</sup> )	< 60	0			
Total Ca	60 ~ 80	65.00			
	80 ~ 100	35.00			
	> 100	0			

### 3 讨论

通过果园土壤理化性状调查和果实品质评价分析, 可以找出果园土壤管理中存在的问题。Khattak 和 Hussain (2007) 在对巴基斯坦 Abbottabad 地区果园土壤肥力和营养评价时认为, 该地区 50% 苹果园土壤氮缺乏, 钾含量丰富, 所有果园缺乏微量元素铜、铁、锌和锰; Siddique 等 (2009) 在研究印度 Murree 苹果主产区低产园土壤营养状态及营养元素相互关系时发现, 苹果园氮、磷、钾含量偏低, 所有果园缺钙, 这些营养的不足是造成苹果产量低的主要原因。由于各个地区土壤成土母质、土壤类型和 pH 的差异, 不同产区土壤理化性状和养分含量的营养平衡标准也不会完全相同, 北京昌平区苹果园的土壤容重、比重、孔隙度和 pH 基本达到良好果园的标准, 不同果园间差异较大, 56.14% 的果园需要加强 20 ~ 40 cm 土层的土壤改良, 把土壤容重降低到  $1.2 \sim 1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  间, 20% 左右的果园土壤孔隙度小于 45%; 15.51% 果园需要把土壤 pH 调节到 7.5 以下; 多数苹果园土壤全氮、碱解氮和有效磷含量丰富, 仍有 30% ~ 40% 的果园需要提高土壤有效钾、钙和铁的含量等, 生产中还需要对每个果园的土壤物理性状和养分含量进行对比分析, 找出果园存在的关键问题, 通过土壤改良和施肥补充, 才能达到实效。

随着消费者对苹果质量要求不断提高, 苹果的安全优质生产更加重要。昌平区 70% 左右的果园果实可溶性固形物大于 14%、可滴定酸含量在 0.25% ~ 0.35% 范围; 近 50% 的果园还需要通过栽培技术增加果实单果质量, 进一步提高果实可溶性固形物含量和风味; 90% 的果园果实中的氮含量高于  $0.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 钙含量在  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  以下的果园占 65%, Denise 和 Gerry (2009) 认为, 成熟期果实氮含量高易导致果实可溶性固形降低, 可滴定酸增加, 果实钙含量  $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  是苹果发生贮藏病害的最低阈值; Fallahi 和 Brenda (1996)、Fallahi 等 (2001) 认为果实钙含量高可以减少果品贮藏的生理病害, 防止果实变软, 说明果实矿质营养含量对提高果实品质的重要性。由于离子间存在拮抗与相辅作用, 苹果果实氮钙比例大于 30 时易出现各种贮藏病害 (束怀瑞, 1995), 防治果实高氮钙比也是今后果园管理中值得重视的工作。

### References

- Cassandro V T, Cristiano A S, Clvaro L M, Jackson A. 2008. Yield and fruit quality of apple from conventional and organic production system. *Agropec Bras*, 43 (3): 333 - 340.
- Denise Neilsen, Gerry Neilsen. 2009. Nutritional effects on fruit quality for apple trees. *New York Fruit Quarterly*, 17 (3): 21 - 24.
- Dris R, Niskanen R, Fallahi E. 1998. Nitrogen and calcium nutrition and fruit quality of commercial apple cultivars grown in Finland. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (11): 2389 - 2402.
- Dris R, Niskanen R, Fallahi E. 1999. Relationships between leaf and fruit minerals and fruit quality attributes of apples grown under northern conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 22 (12): 1839 - 1851.
- Elenade Castro Hernandez, Bill Biasi, Elizabeth Mitcham. 2005. Quality of Pink Lady brand apple. Wenatchee, WA: 7th Washington Tree Fruit Postharvest Conference: 1 - 8.
- Fallahi E, Brenda R Simons. 1996. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in 'Delicious' apples. *Journal of Tree Fruit Production*, 1 (1): 15 - 25.
- Fallahi E, Colt W M, Fallahi B. 2001. Optimum ranges of leaf nitrogen for yield, fruit quality, and photosynthesis in 'BC-2 Fuji' apple. *Journal of American Pomology Society*, 55 (2): 68 - 75.
- Ferguson I B, Watkins C B. 1992. Crop load affects mineral concentrations and incidence of bitter pit in Orange Pippin apple fruit. *Journal of the America Society for Horticultural Science*, 117: 373 - 376.
- Hilmelroch D G, Walker C E. 1982. Seasonal trends of calcium, magnesium, and potassium fractions in apple leaf and fruit tissues. *Journal of the America Society for Horticultural Science*, 107 (6): 1078 - 1080.

- Khattak R A, Hussain Z. 2007. Evaluation of soil fertility status and nutrition of orchards. *Soil & Environ*, 26 (1): 22 - 32.
- Li Bao-guo, Qi Guo-hui, Guo Su-ping, Li Hui-zhuo, Zhang Lin-ping. 2002. Study on the relationship between the soil nutrient elements and the apple fruit quality of the newly reclaimed apple orchard in Taihang mountain gneiss area. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 10 (3): 17 - 20. (in Chinese)
- 李保国, 齐国辉, 郭素平, 李惠卓, 张林平. 2002. 太行山片麻岩区新垦苹果园土壤营养与果实品质的关系研究. *中国生态农业学报*, 10 (3): 17 - 20.
- Liu Zi-long, Zhang Guang-jun, Zhao Zheng-yang, Liang Jun. 2006. Survey on the state of soil nutrient of apple orchards in the major production area of Shaanxi. *Journal of Northwest Forestry University*, 21 (2): 50 - 53. (in Chinese)
- 刘子龙, 张广军, 赵政阳, 梁俊. 2006. 陕西苹果主产区丰产果园土壤养分状况的调查. *西北林学院学报*, 21 (2): 50 - 53.
- Palmer J W, Dryden G. 2006. Fruit mineral removal rates from New Zealand apple (*Malus domestica*) orchards in the Nelson region. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34: 27 - 32.
- Peng Fu-tian, Jiang Yuan-mao. 2006. Characteristics of N, P, and K nutrition in different yield level apple orchards. *Scientia Agricultura Sinica*, 39 (2): 361 - 367. (in Chinese)
- 彭福田, 姜远茂. 2006. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究. *中国农业科学*, 39 (2): 361 - 367.
- Peryea F J. 1990. Whole fruit mineral element composition and quality of harvested 'Delicious' apples. *Journal of Plant Nutrition*, 13 (6): 701 - 711.
- Shu Huai-rui. 1995. *Fruit Cultivation physiology*. Beijing: China Agriculture press. (in Chinese)
- 束怀瑞. 1995. *果树栽培生理学*. 北京: 中国农业出版社.
- Shu Huai-rui. 1999. *Apple Science*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 束怀瑞. 1999. *苹果学*. 北京: 中国农业出版社.
- Siddique M, Siddique M T, Ali S, Javed A S. 2009. Macronutrient assessment in apple growing region of Punjab. *Soil & Environ*, 28 (2): 184 - 192.
- Wang Hai-yun, Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, Zhao Feng-xia, Sui Jing, Liu Bing-hua. 2008. Study on the relationship between the soil available nutrition and yield in apple orchard of Jiaodong. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*, 39 (1): 31 - 38. (in Chinese)
- 王海云, 姜远茂, 彭福田, 赵凤霞, 隋静, 刘丙花. 2008. 胶东苹果园土壤有效养分状况及与产量关系研究. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 39 (1): 31 - 38.
- Wu Huai-qing. 2005 Current situation and analysis of soil nutrient and plant nutrient of apple orchards in the superiority areas of apple production in the middle and southern part of Shanxi Province. *Journnal of Shanxi Agricultural University*, 25 (4): 361 - 364. (in Chinese)
- 武怀庆. 2005. 山西省中南部苹果生产优势区果园土壤营养、植株营养现状及分析. *山西农业大学学报*, 25 (4): 361 - 364.
- Zhang Qiang, Wei Qin-ping, Liu Hui-ping, Jiang Rui-shan, Liu Xu-dong, Wang Xiao-wei. 2011. Multivariate analysis and optimum proposals of the relationship between soil nutrients and fruit qualities in apple orchard. *Scientia Agricultura Sinica*, 44 (8): 1654 - 1661. (in Chinese)
- 张强, 魏钦平, 刘惠平, 蒋瑞山, 刘旭东, 王小伟. 2011. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案. *中国农业科学*, 44 (8): 1654 - 1661.