

# 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析

张 东<sup>1</sup>, 赵 娟<sup>2</sup>, 韩明玉<sup>1,\*</sup>, 高琛稀<sup>1</sup>, 罗文文<sup>1</sup>, 郑立伟<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>合肥学院物理与数学系, 合肥 230601)

**摘 要:** 2012 和 2013 年, 对黄土高原 12 个主产区 108 个典型富士苹果园叶片养分和果实品质进行调查分析, 应用典型相关分析方法, 筛选影响果实品质因子的主要叶片养分因子, 求解富士苹果优质的叶片养分含量优化方案, 指出被调查果园叶片养分存在的问题。研究结果表明: 黄土高原富士苹果品质整体优良, 但果实硬度偏低, 可滴定酸含量变异稍大。典型相关分析获得了影响苹果品质的主要叶片养分因子, 单果质量为: 钾 > 磷 > 镁 > 铁 > 钙; 果实硬度为: 镁 > 钾 > 磷 > 钙 > 铁; 果实可溶性固形物含量为: 镁 > 钾 > 磷 > 锌 > 钙; 果实可滴定酸含量为: 镁 > 钾 > 氮 > 锌; 果形指数的大小顺序为: 镁 > 钾 > 磷 > 铁 > 钙。线性规划求解出富士苹果优质的叶片养分含量优化方案为: 全氮 21.5 ~ 26.6 g·kg<sup>-1</sup>、全磷 1.18 ~ 1.86 g·kg<sup>-1</sup>、全钾 5.5 ~ 11.6 g·kg<sup>-1</sup>、全钙 13.6 ~ 26.1 g·kg<sup>-1</sup>、全镁 4.8 g·kg<sup>-1</sup>、全锌 15.0 ~ 75.0 mg·kg<sup>-1</sup>、全铁 100.0 ~ 180.0 mg·kg<sup>-1</sup>, 在优化条件下苹果单果质量可以达到 382.5 g、果实硬度 8.59 kg·cm<sup>-2</sup>、可溶性固形物含量 19.11%、可滴定酸含量 0.157%、果形指数 0.93。被调查的果园叶片全磷、全钾、全钙和全铁含量均较高, 全氮和全锌含量相对适宜, 合理施肥, 平衡树体营养, 防止旺长是其今后树体养分管理的关键。

**关键词:** 苹果; 黄土高原; 叶片营养; 果实品质; 相关性

**中图分类号:** S 661.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2014) 11-2179-09

## Correlation Analysis of Leaf Mineral Nutrients with Fruit Quality in ‘Fuji’ Apple in the Loess Plateau

ZHANG Dong<sup>1</sup>, ZHAO Juan<sup>2</sup>, Han Ming-yu<sup>1,\*</sup>, GAO Chen-xi<sup>1</sup>, LUO Wen-wen<sup>1</sup>, and ZHENG Li-wei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; <sup>2</sup>Department of Physics and Mathematics, Hefei University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** The objective of this experiment is to find out the effects of leaf nutrients on fruit quality in ‘Fuji’ apple. The leaf mineral nutrients and fruit quality were surveyed at 108 ‘Fuji’ orchards in Loess Plateau during 2012 and 2013. The methods of canonical correlation analysis were applied to screen the major leaf nutrient elements affecting fruit quality, obtain optimum proposal of leaf nutrient elements for good apple qualities, and point out the existing problems in leaf nutrients. The results showed that the

**收稿日期:** 2014-07-14; **修回日期:** 2014-10-10

**基金项目:** 国家科技支撑计划项目 (2013BAD20B03); 陕西省科技统筹创新工程重大专项 (2011KTZB02-02-05); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-28); 陕西省人才引进专项配套专项经费项目; 西北农林科技大学试验示范站 (基地) 科技创新与成果转化项目 (NYY2013-74)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: hanmy@nwsuaf.edu.cn)

whole apple quality in Loess Plateau was fine, but the fruit firmness was relatively low, the variation of titratable acid was slightly larger. The mass per fruit was influenced by leaf mineral nutrients K, P, Mg, Fe, Ca and  $K > P > Mg > Fe > Ca$ ; Fruit firmness was affected by leaf mineral nutrients Mg, K, P, Ca, Fe and  $Mg > K > P > Ca > Fe$ , soluble solids was affected by leaf mineral nutrients Mg, K, P, Zn, Ca and  $Mg > K > P > Zn > Ca$ , titratable acid was influenced by leaf mineral nutrients Mg, K, N, Zn and  $Mg > K > N > Zn$ , the order of fruit shape index affected by leaf mineral nutrients was  $Mg > K > P > Fe > Ca$ . The optimum proposals for leaf nutrient elements content of high quality apple were:  $21.5 - 26.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $1.18 - 1.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $5.5 - 11.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $13.6 - 26.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $4.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $15.0 - 75.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $100.0 - 180.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of total N, P, K, Ca, Mg, Zn and Fe, respectively. And mass per fruit, fruit firmness, soluble solids, titratable acid and fruit shape index will achieve  $382.5 \text{ g}$ ,  $8.59 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $19.11\%$ ,  $0.157\%$  and  $0.93$ . In the investigated orchards, total P, K, Ca, Fe content are higher, the total N and total Zn content are relatively appropriate. In addition, leaf nutrient content is higher in the whole investigated orchards. In order to manage tree nutrients in the future, it is a key point to fertilize reasonably, balance tree nutrients and prevent vigorous growth.

**Key words:** apple; Loess Plateau; leaf nutrient; fruit quality; correlation analysis

近年来黄土高原苹果产区果实品质出现下降趋势, 限制产业进一步发展。叶片养分与果实品质关系密切, 筛选影响果实品质的主要叶片养分因子, 可为优质果品生产提供指导。这在苹果、柑橘、无核黄皮等果树上已有系列报道(张建军 等, 1994; 于忠范 等, 2002; 张林 等, 2010; Jivan & Sala, 2014)。在对苹果的研究中发现, 不同品种之间, 影响果实品质的叶片养分因子存在差异(Dris et al., 1998)。红元帅苹果品质主要受叶片氮、磷、钾、钙和锰含量的影响(Fallahia & Simonsb, 1996),

‘Golden Smoothee’苹果可滴定酸含量与叶片磷和钾含量呈显著正相关, 果实硬度与叶片钙含量呈显著正相关(Casero et al., 2004)。对豫西地区红富士苹果果实硬度和糖/酸影响最大的叶片养分是K和Fe(刘红霞 等, 2008)。温明霞等(2007)研究发现, 柑橘果实膨大期, 叶片养分含量与果实品质有较好的相关性, 可以作为营养诊断的最佳时期。不同物候期无核黄皮的叶片养分含量与果肉品质的相关性各不相同(王荣萍 等, 2013)。Jivan和Sala(2014)建立了通过苹果叶片养分诊断预测苹果果实品质的模型。综上, 现有研究在叶片养分与果实品质的关系上做了大量工作, 但不同研究结论存在较大差异, 此外, 这些研究没有提出果实优质的叶片养分优化方案。

黄土高原苹果产区土壤和气候类型独特, 目前仍有两个问题亟待解决, 一是影响黄土高原苹果品质的主要叶片养分因子筛选, 二是黄土高原苹果优质的叶片养分因子优化方案。本研究中通过对黄土高原区成龄富士苹果园叶片养分与果实品质的调查, 应用典型相关分析方法, 探讨生产优质果实适宜的叶片养分指标, 为苹果优质栽培管理过程中调节树体营养, 改善果实品质提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及其处理

2012—2013年, 选择黄土高原地区陕西省宝鸡市扶风县、铜川市印台区、延安市宝塔区和洛川县、渭南市白水县和合阳县、咸阳市旬邑县; 甘肃省天水市甘谷县、平凉市静宁县、庆阳市西峰区、河南省三门峡市陕县和山西省运城市临猗县等12个主产区, 在每个主产区分别选择具有代表性的9个乔化苹果园进行试验, 其中包括高产、中产和低产果园各3个。因各地果园产量差别较大,

特将产量与采样地平均产量相当的果园作为中产园, 产量比平均水平高 30% 以上的作为高产园, 产量比平均水平低 30% 以上的作为低产园。采样果园实际产量通过调查 10 个单株产量, 根据栽培密度计算得出。每个果园面积  $0.4 \text{ hm}^2$ 。所选果园的栽培品种为富士 (*Malus × domestica* Borkh. 'Fuji'), 砧木为八棱海棠 (*M. micromalus* Makino), 树龄为 15 ~ 23 年生, 株行距为  $3 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。果园选定后, 土肥水等管理水平基本一致, 连续测定 2 年。

2012 年 8 月, 在各果园的东南西北中的 5 个方位各选取 1 株长势良好, 无病虫害, 挂果数有代表性的树, 做好标记, 每株树于东、西、南、北 4 个方位各取中部、外膛新梢第 7 或 8 片成熟叶 3 ~ 5 片 (带叶柄), 每个果园混合样不少于 100 片, 用去离子水冲洗干净, 然后放在  $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$  烘箱中杀青 30 min, 然后在  $70 \sim 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  下烘干, 粉碎后过 60 目筛, 混合保存备用。2012 年 10 月, 对上述选定果树, 在果实成熟期采集果实样本, 每株于东、西、南、北 4 个方向各采集 5 个典型的果实 (带果柄) 带回实验室, 用于果形指数、单果质重、果实着色、硬度、可溶性固形物和可滴定酸的测定。2013 年重复 2012 年的采样工作。

## 1.2 叶片养分和果实品质的测定

叶片全氮含量采用  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$  消煮定氮法, 全磷含量采用  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$  消煮分光光度法, 全钾含量采用  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$  消煮火焰光度法, 全钙、全镁、全锌和全铁含量采用  $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$  消煮原子吸收分光光度法 (鲍士旦, 2005) 测定。

用游标卡尺测定果实纵、横径 (mm), 纵、横径的比值即为果形指数; 用电子天平称取果实质量 (g); 对果实赤道处对称两面去皮后, 采用数显果实硬度计 (GY-4, 浙江托普仪器有限公司) 测定果实硬度 ( $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ); 采用数字手持袖珍折射仪 (PAL-1, 日本 ATAGO 公司) 测定果实可溶性固形物 (TSS) 含量; 采用果实酸度计 (GMK-835F, 韩国 G-WON 公司) 测定果实可滴定酸含量。

采用 Microsoft Excel 2007 (美国, 微软公司) 进行试验数据的整理和分析, 方差分析采用的检测概率值为 0.01。回归方程建立采用 R 软件 (新西兰, 奥克兰大学), 线性规划方程组求解采用 lingo 软件 (美国, LINDO 系统公司)。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片矿质养分含量的基本状况

2012 和 2013 年两年对黄土高原地区 108 个典型富士苹果园植株叶片矿质养分测定结果见表 1。参照安贵阳等 (2004) 制定的陕西地区苹果树叶片营养元素标准范围, 所调查的果园植株叶片全磷、全钾、全钙、全镁和全铁含量均偏高, 全氮和全锌含量则相对适宜。7 个叶片矿质养分含量指标中全锌的变异系数最大, 达 58.91%, 其余 6 个指标变异系数相当, 介于 16.7% ~ 29.0%。

表 1 苹果叶片矿质养分含量概况  
Table 1 Mineral nutrition in apple leaves

元素 Element	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 STD	变异系数/% CV
全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total N	23.66	14.42	47.15	4.18	16.67
全磷/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total P	2.72	1.41	6.50	0.60	22.07
全钾/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total K	12.36	5.71	20.97	2.86	23.13
全钙/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total Ca	26.21	6.61	47.61	6.65	25.38
全镁/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total Mg	4.75	2.77	10.02	1.26	26.56
全锌/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total Zn	38.25	11.81	185.80	22.53	58.91
全铁/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total Fe	306.27	134.89	518.01	87.71	28.64

2.2 果实品质的基本状况

2012 和 2013 年两年黄土高原地区 108 个典型富士苹果园果实品质的测定数据见表 2，其中硬度和可溶性固形物含量显著高于国家鲜苹果标准（GB/T 10651-2008）中的优等级。5 个品质指标中可滴定酸含量的变异系数最大，达 19.06%；其次为可溶性固形物含量（11.99%）；再次为单果质量（9.62%）和硬度（8.09%）；果形指数的变异系数最小，仅为 3.27%。

表 2 果实品质概况  
Table 2 Attibutes of fruit quality

品质 Quality	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 STD	变异系数/% CV	鲜苹果标准（优等级） Standard of fresh apple (Superior grade)
单果质量/g Mass per fruit	250.54	182.99	346.10	24.10	9.62	
硬度/(kg·cm <sup>-2</sup> ) Firmness	7.78	7.39	9.80	0.63	8.09	7.00
可溶性固形物/% Soluble solids	14.92	12.34	17.46	1.79	11.99	13.00
可滴定酸/% Titratable acidity	0.295	0.188	0.439	0.056	19.06	
果形指数 Shape index of fruit	0.87	0.82	0.94	0.03	3.27	

不同果实品质等级的果园比例见表 3。94.45%的果园单果质量介于 200 ~ 300 g 之间；94.45%的果园果实可溶性固形物含量介于 13% ~ 17%之间；10.19%的果园果实硬度小于 7.0 kg·cm<sup>-2</sup>，88.89%介于 7.0 ~ 9.0 kg·cm<sup>-2</sup>之间，仅有 0.93%高于 9.0 kg·cm<sup>-2</sup>；93.52%的果园果实可滴定酸含量介于 0.2% ~ 0.4%之间；37.96%的果园果实果形指数小于 0.86，43.52%介于 0.86 ~ 0.90 之间，15.74%介于 0.90 ~ 0.93 之间。

表 3 富士苹果不同品质属性的果园比例  
Table 3 Proportion of ‘Fuji’ apple orchards for different fruit quality attributes

等级 Grade	单果质量/ g Mass per fruit		果实硬度/ (kg·cm <sup>-2</sup> ) Firmness		果形指数 Shape index of fruit		可溶性固形物/% Soluble solids		可滴定酸/% Titratable acidity	
	范围 Boundary	果园比例/% Proportion of orchard	范围 Boundary	果园比例/% Proportion of orchard	范围 Boundary	果园比例/% Portion of orchard	范围 Boundary	果园比例/% Proportion of orchard	范围 Boundary	果园比例/% Proportion of orchard
1	< 200	1.85	< 7.0	10.19	< 0.86	37.96	< 13	2.78	< 0.2	0.93
2	200 ~ 250	50.93	7.0 ~ 8.0	55.56	0.86 ~ 0.90	43.52	13 ~ 15	50.93	0.2 ~ 0.3	61.11
3	250 ~ 300	43.52	8.0 ~ 9.0	33.33	0.90 ~ 0.93	15.74	15 ~ 17	43.52	0.3 ~ 0.4	32.41
4	> 300	3.70	> 9.0	0.93	> 0.93	2.78	> 17	2.78	> 0.4	5.56

2.3 叶片矿质养分含量对果实品质影响因子的筛选和回归方程的建立

以叶片全氮（ $x_N$ ）、全磷（ $x_P$ ）、全钾（ $x_K$ ）、全钙（ $x_{Ca}$ ）、全镁（ $x_{Mg}$ ）、全锌（ $x_{Zn}$ ）和全铁（ $x_{Fe}$ ）为一个正态总体，果实单果质量（ $y_1$ ）、硬度（ $y_2$ ）、可溶性固形物含量（ $y_3$ ）、可滴定酸含量（ $y_4$ ）和果形指数（ $y_5$ ），为另一正态总体，应用典型相关分析方法，依据典型相关系数的大小，结合生物学性状和统计分析，筛选出影响果实单果质量等几个主要品质因素的叶片矿质养分因子，并建立了果实品质与叶片矿质养分的回归方程（表 4），通过对回归方程进行显著性检验，均达到显著性差异水平，表明建立的方程稳定可靠。

从表 4 的回归方程看出，单果质量受叶片矿质养分影响的大小顺序为钾 > 磷 > 镁 > 铁 > 钙，与钾、镁、铁、钙呈正相关，与磷呈负相关；果实硬度受叶片矿质养分影响的大小顺序为镁 > 钾 > 磷 > 钙 > 铁，并与磷、铁呈负相关，与镁、钾、钙呈正相关；果实可溶性固形物含量受叶片矿质养分影响的大小顺序为镁 > 钾 > 磷 > 锌 > 钙，与它们均呈正相关；果实可滴定酸含量受叶片矿质养分影响的大小顺序为镁 > 钾 > 氮 > 锌，与氮、镁呈正相关，并与磷、锌呈负相关，

提高叶片钾和锌的含量可以降低果实的酸含量; 果形指数受叶片矿质养分影响的大小顺序为镁 > 钾 > 磷 > 铁 > 钙, 与镁、钾、铁呈正相关, 而与磷、钙呈负相关。

表 4 影响果实品质属性的主要叶片矿质养分因子筛选和回归方程建立  
Table 4 Selection of major mineral nutrient factors of leaves and establishment of regression equation affecting attributes of fruit quality

果实品质 (y) Fruit quality	回归方程 Regression equations	方程 F 值 F value of equations
单果质量 Mass per fruit	$y_1 = 126.287 - 3.496 x_P + 4.141 x_K + 0.657 x_{Ca} + 2.819 x_{Mg} + 1.009 x_{Fe}$	7.90 <sup>**</sup>
硬度 Firmness	$y_2 = 4.452 - 0.0743 x_P + 0.103 x_K + 0.0474 x_{Ca} + 0.258 x_{Mg} - 0.00323 x_{Fe}$	9.32 <sup>**</sup>
可溶性固形物 Soluble solids	$y_3 = 8.425 + 0.124 x_P + 0.24 x_K + 0.04 x_{Ca} + 0.516 x_{Mg} + 0.062 x_{Zn}$	8.97 <sup>**</sup>
可滴定酸 Titratable acidity	$y_4 = 0.108 + 0.00121 x_N - 0.00798 x_K + 0.0136 x_{Mg} - 0.000301 x_{Zn}$	12.33 <sup>**</sup>
果形指数 Shape index of fruit	$y_5 = 0.825 - 0.00118 x_P + 0.00176 x_K - 0.000123 x_{Ca} + 0.00516 x_{Mg} + 0.000352 x_{Fe}$	6.97 <sup>**</sup>

\*\*  $P < 0.01$ .

## 2.4 果实优质的叶片养分含量优化方案

为进一步探讨获得果实优质的叶片养分含量的适宜范围, 以果实单果质量最大 ( $y_{max1}$ ) 为目标函数 (A), 果实硬度 ( $y_2$ )、可溶性固形物 ( $y_3$ )、果实可滴定酸 ( $y_4$ )、果形指数 ( $y_5$ ) 和叶片全氮 ( $x_N$ )、全磷 ( $x_P$ )、全钾 ( $x_K$ )、全钙 ( $x_{Ca}$ )、全镁 ( $x_{Mg}$ )、全锌 ( $x_{Zn}$ ) 和全铁 ( $x_{Fe}$ ) 为约束条件 (B), 方程中叶片养分的约束条件依据调查的数据资料, 同时参考国内外叶片养分适宜水平; 果实品质因子的约束条件依据调查的数据资料和国家鲜苹果标准 (GB/T 10651-2008) 中的富士苹果品质指标, 建立了求解果实单果质量最大的线性规划方程组。应用相同的方法, 可建立求解果实硬度最大 ( $y_{max2}$ )、可溶性固形物最大 ( $y_{max3}$ )、果实可滴定酸最小 ( $y_{mix4}$ ) 和果形指数最大 ( $y_{max5}$ ) 的线性规划方程, 通过求解, 获得了果实品质优质的叶片养分因子的最适范围 (表 5)。

$$y_{max1} = 126.287 - 3.496 x_P + 4.141 x_K + 0.657 x_{Ca} + 2.819 x_{Mg} + 1.009 x_{Fe} \quad (A)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 4.452 - 0.0743 x_P + 0.103 x_K + 0.0474 x_{Ca} + 0.258 x_{Mg} - 0.00323 x_{Fe} \geq 8.0 \\ 8.425 + 0.124 x_P + 0.24 x_K + 0.04 x_{Ca} + 0.516 x_{Mg} + 0.062 x_{Zn} \geq 15.0 \\ 0.108 + 0.00121 x_N - 0.00798 x_K + 0.0136 x_{Mg} - 0.000301 x_{Zn} \leq 0.3 \\ 0.825 - 0.00118 x_P + 0.00176 x_K - 0.000123 x_{Ca} + 0.00516 x_{Mg} + 0.000352 x_{Fe} \geq 0.9 \\ 21.5 \leq x_N \leq 26.6 \\ 1.18 \leq x_P \leq 1.86 \\ 5.5 \leq x_K \leq 11.6 \\ 13.6 \leq x_{Ca} \leq 26.1 \\ 3.2 \leq x_{Mg} \leq 4.8 \\ 15.0 \leq x_{Zn} \leq 75.0 \\ 100.0 \leq x_{Fe} \leq 180.0 \end{array} \right. \quad (B)$$

从表 5 可以得出, 当叶片含量为全氮 21.5 ~ 26.6 g · kg<sup>-1</sup>、全磷 1.18 ~ 1.86 g · kg<sup>-1</sup>、全钾 5.5 ~ 11.6 g · kg<sup>-1</sup>、全钙 13.6 ~ 26.1 g · kg<sup>-1</sup>、全镁 4.8 g · kg<sup>-1</sup>、全锌 15.0 ~ 75.0 mg · kg<sup>-1</sup>、全铁 100.0 ~ 180.0 mg · kg<sup>-1</sup> 时, 果实单果质量最大值可以达到 382.5 g、果实硬度 8.59 kg · cm<sup>-2</sup>、可溶性固形物含量 19.11%、可滴定酸含量 0.157%、果形指数 0.93。

表 5 果实品质最佳的叶片养分因子指标体系和最佳范围

Table 5 Optimum values and range of leaf nutrient factors for good apple quality

果实品质 Fruit quality	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> ) Total N	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> ) Total P	全钾/ (g · kg <sup>-1</sup> ) Total K	全钙/ (g · kg <sup>-1</sup> ) Total Ca	全镁/ (g · kg <sup>-1</sup> ) Total Mg	全锌/ (mg · kg <sup>-1</sup> ) Total Zn	全铁/ (mg · kg <sup>-1</sup> ) Total Fe
单果质量 Mass per fruit	21.5	1.18	11.6	26.1	4.8	15.0	180.0
果实硬度 Firmness	21.5	1.18	11.6	26.1	4.8	15.0	100.0
果形指数 Shape index of fruit	21.5	1.18	11.6	13.6	4.8	15.0	180.0
可溶性固形物 Soluble solids	21.5	1.86	11.6	13.6	4.8	75.0	100.0
可滴定酸 Titratable acidity	26.6	1.18	5.5	13.6	4.8	15.0	100.0
最佳范围 Range of optimum value	21.5 ~ 26.6	1.18 ~ 1.86	5.5 ~ 11.6	13.6 ~ 26.1	4.8	15.0 ~ 75.0	100.0 ~ 180.0

2.5 所调查果园叶片养分含量比较分析

为了更好地指导树体营养管理，把理论计算的叶片养分优化范围值与调查的叶片养分实测值进行比较（表 6）。结果表明，全磷、全钾、全钙和全铁含量均较高，其中尤以全磷和全铁最为显著，处在优化方案上限指标以上的果园比例分别占 93.5%和 89.8%；全氮和全锌含量则相对适宜，分别有 52.8%和 89.82%果园与优化方案指标相符。由此可见，调查果园叶片养分含量整体偏高，合理施肥，平衡树体营养，防止旺长是未来黄土高原苹果树体养分管理的关键。

表 6 果园叶片矿质养分含量优化值与实测值比较

Table 6 Comparative leaf nutrient data in optimum range with measured values

养分因子 Leaf nutrient factors	含量范围/ (g · kg <sup>-1</sup> ) Limit of nutrient	果园比例/% Proportion of orchard	养分因子 Leaf nutrient factors	含量范围/ (g · kg <sup>-1</sup> ) Limit of nutrient	果园比例/% Proportion of orchard	养分因子 Leaf nutrient factors	含量范围/ (mg · kg <sup>-1</sup> ) Limit of nutrient	果园比例/% Proportion of orchard
全氮 Total N	< 21.5 21.5 ~ 26.6 > 26.6	25.0 52.8 22.2	全钙 Total Ca	< 4.8 = 4.8 > 4.8	56.5 0 43.5	全锌 Total Zn	< 15 15 ~ 75 > 75	2.8 89.8 7.4
全磷 Total P	< 1.18 1.18 ~ 1.86 > 1.86	0 6.5 93.5	全镁 Total Mg	< 4.8 = 4.8 > 4.8	56.5 0 43.5	全铁 Total Fe	< 100 100 ~ 180 > 180	0 10.2 89.8
全钾 Total K	< 5.5 5.5 ~ 11.6 > 11.6	0 40.7 59.3	全铁 Total Fe	< 100 100 ~ 180 > 180	0 10.2 89.8			

3 讨论

2012—2013 年对黄土高原 12 个主产区地区 108 个典型富士果园调查数据显示，与 10 年前耿增超等（2003）对陕西扶风 60 个富士苹果叶片养分测定值相比，所调查果园氮和钾含量基本一致，磷、钙、镁和铁含量均高出 20%以上，可能与试验样本量，采样地区和年限有关，推测近年来黄土高原地区开展科学配方施肥，富士苹果树体养分状况略有改善；与王富林等（2013）对渤海湾产区的叶片养分测定数据相比，7 项指标均高于或接近渤海湾产区；与 Dris 等（1999）对芬兰 6 个苹果品种混合叶片养分检测数据相比，磷、钙和镁含量高出 20%以上，氮含量与之相当，而钾含量低 30%。参考安贵阳等（2004）制定的陕西地区苹果叶营养元素标准范围，初步认为现阶段黄土高原叶片养分特征为：整体处于较好水平，全磷、全钾、全钙、全镁和全铁含量均偏高，全氮和全锌含量相对适宜。

本研究中所调查的果园果实硬度全部高于国家鲜苹果标准中的优等级，有 97.22%的果园可溶性固形物含量高于优等级。与张强等（2011a）报道北京昌平区管理较好富士果园相比，除果实硬度略低外，单果质量、可溶性固形物和可滴定酸含量与之基本相当，可滴定酸含量变异系数偏大。可溶

性固形物含量和硬度高于于忠范等(2002)测定的烟台地区富士果园。果形指数与路超等(2009)测定的山东地区 21 个产区富士果园相当。总体上黄土高原苹果品质优良,但硬度偏低,可滴定酸含量变异稍大。

前人的研究表明,苹果叶片营养成分含量对果实品质的影响关系错综复杂,营养元素间存在复杂相互作用及不同程度的相关性(Casero et al., 2004)。根据近代回归分析理论(陈希孺和王松桂, 1987),此种情况下,如采用多元线性回归或逐步回归建立方程,容易导致系数不稳、系数符号相反或与生产实际不一致等问题。本研究中应用典型相关分析研究叶片营养与果实品质两个不同正态总体间的关系,并筛选影响果实品质因子的叶片主要营养影响因子,消除了在方程建立过程中的复共线性问题(陈希孺和王松桂, 1987)。魏钦平(1993)调查了山东省主要苹果产区成龄国光苹果园的土壤养分和果实品质,应用多元回归和线性规划方法获得了果实丰产优质的土壤营养成分含量。Casero 等(2004)应用多元回归方法研究了‘Golden Smoothee’苹果叶片的矿质营养与果实品质的关系。张强等(2011b, 2011c)通过对北京昌平苹果园的土壤养分含量和果实品质进行调查,应用典型相关分析和线性规划等方法,筛选影响果实品质因子和果实矿质营养的主要土壤养分因子,求解生产优质富士苹果的土壤营养成分含量优化方案。

本研究中对 7 种叶片矿质养分与 5 个果实品质因子简单相关分析,发现单项养分因子与品质间的关系普遍不密切(数据未显示),应用典型相关分析研究叶片营养与果实品质两个不同正态总体间的关系,并筛选影响果实品质因子的主要叶片营养影响因子,发现对果实单果质量影响较大的是叶片全磷、全钾和全镁的含量,磷与之呈负相关,钾和镁与之呈正相关,这与耿增超等(2003)在苹果上的研究类似。徐爱春等(2011)在猕猴桃的研究中也发现钾与果实的单果质量显著正相关。本研究建立的回归方程显示,果实硬度与铁含量呈显著负相关,锌含量与果实硬度相关性不显著,这与刘德鸿等(2007)对豫西地区富士苹果的分析相一致。Casero 等(2004)以‘Golden Smoothee’苹果为试材的研究表明,叶片钙、镁、钾含量与果实可溶性固形物密切相关。于忠范等(2002)认为叶片磷、镁和锰的含量与果实中可溶性固形物含量显著相关。徐爱春等(2011)在猕猴桃上也发现叶片磷、钾和锌元素与果实的可溶性固形物含量显著负相关,镁、钙、硼元素与果实可溶性固形物含量显著正相关。本研究中果实可溶性固形物含量受叶片矿质养分影响的大小顺序为镁 > 钾 > 磷 > 锌 > 钙,且与它们均呈正相关。Casero 等(2004)以‘Golden Smoothee’苹果为试材研究表明,叶片钙、磷含量与果实可滴定酸呈正相关,而与钾、镁、氮呈负相关。徐海燕等(2012)在柑橘中的研究表明,果实酸含量与叶片磷含量显著正相关,而与镁和铁呈显著负相关。本研究结果显示果实可滴定酸含量主要受叶片镁的影响,同时提高叶片全钾和锌的含量可以降低果实的酸含量。徐海燕等(2012)在柑橘中的研究表明,果实指数与叶片磷含量显著负相关,而与钾和锌呈显著负相关。本研究中果形指数与镁、钾、铁和钙呈正相关,而与磷呈负相关。综合前人与本研究结果不难发现,叶片各矿质营养元素与品质的关系,不同研究者之间观点存在一定差异,可能与树种、品种,土壤条件、栽培条件及采样时间等因素差异有关(安贵阳等, 2006)。

本研究提出了果品优质的叶片养分优化方案,但该优化方案仅是一个理论值,与王富林等(2013)基于渤海湾产区 2 827 个果园叶片养分平均值相比,本优化方案中的叶片全氮偏低,全磷和全钾相当,全钙、全镁、全锌和全铁均偏高,可能与土壤条件、气候条件、降雨量和树龄等因素有关,还需要根据各个果园树体营养水平进行相应的田间验证与调整。

## 4 结论

黄土高原苹果品质整体优良,但果实硬度偏低,可滴定酸含量变异稍大。被调查果园叶片养分

含量整体偏高,全磷、全钾、全钙、全镁和全铁含量均偏高,全氮和全锌含量相对适宜;大量元素含量在果园间变异相对较小,微量元素变异较大,尤以锌变异最大。应用典型相关分析方法,筛选影响果实品质的主要叶片养分因子,单果质量受叶片矿质养分影响的顺序为:钾 > 磷 > 镁 > 铁 > 钙;果实硬度为:镁 > 钾 > 磷 > 钙 > 铁;果实可溶性固形物含量为:镁 > 钾 > 磷 > 锌 > 钙;果实可滴定酸含量为:镁 > 钾 > 氮 > 锌;果形指数为:镁 > 钾 > 磷 > 铁 > 钙。线性规划获得了果实优质的叶片养分因子的最适范围:叶片全氮  $21.5 \sim 26.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷  $1.18 \sim 1.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钾  $5.5 \sim 11.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钙  $13.6 \sim 26.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全镁  $4.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全锌  $15.0 \sim 75.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全铁  $100.0 \sim 180.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,在上述最适范围内,单果质量可以达到  $382.5 \text{ g}$ ,果实硬度  $8.59 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,可溶性固形物含量  $19.11\%$ ,可滴定酸含量  $0.157\%$ ,果形指数  $0.93$ 。黄土高原地区叶片养分整体偏高,认为合理施肥,平衡树体营养,防止旺长是苹果树体养分管理的关键。

## References

- An Gui-yang, Fan Chong-hui, Du Zhi-hui, Yu Jun-yi, Deng Feng-chan, Shi Lian-rang. 2006. Analysis of effective factors of nutrient content in apple leaves. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (1): 12 - 16. (in Chinese)
- 安贵阳, 范崇辉, 杜志辉, 郁俊谊, 邓丰产, 史联让. 2006. 苹果叶营养元素含量的影响因素分析. *园艺学报*, 33 (1): 12 - 16.
- An Gui-yang, Shi Lian-rang, Du Zhi-hui, Yu Jun-yi, Deng Feng-chan. 2004. Studies on the standard range of apple leaf nutritional elements in Shaanxi Province. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (1): 81 - 83. (in Chinese)
- 安贵阳, 史联让, 杜志辉, 郁俊谊, 邓丰产. 2004. 陕西地区苹果叶营养元素标准范围的确定. *园艺学报*, 33 (1): 81 - 83.
- Bao Shi-dan. 2005. Soil agricultural chemical analysis. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2005. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社.
- Casero T, Benavides A, Puy J, Recasens I. 2004. Relationships between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in Golden Smoothee apples using multivariate regression techniques. *Journal of Plant Nutrition*, 27 (2): 313 - 324.
- Chen Xi-ru, Wang Song-gui. 1987. Modern regression analysis. Hefei: Publishing House of Anhui Education. (in Chinese)
- 陈希孺, 王松桂. 1987. 近代回归分析. 合肥: 安徽教育出版社.
- 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, Fallahib 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.
- Fallahia E, Simonsb B R. 1996. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in 'Delicious' apples. *Journal of Tree Fruit Production*, 1 (1): 15 - 25.
- Geng Zeng-chao, Zhang Li-xin, Zhao Er-long, Zhang Chao-yang, Chen Yong-xin. 2003. Study on the diagnosis with DRIS norm of mineral elements in Fuji apple in Shaanxi Province. *Journal of Northwest Plants*, 23 (8): 1422 - 1428. (in Chinese)
- 耿增超, 张立新, 赵二龙, 张朝阳, 陈永欣. 2003. 陕西红富士苹果矿质营养 DRIS 标准研究. *西北植物学报*, 23 (8): 1422 - 1428.
- Jivan C, Sala F. 2014. Relationship between tree nutritional status and apple quality. *Horticulturae Science*, 41 (1): 1 - 9.
- Liu De-hong, Liu Gong-xia, Liu Gui-lian, Guo Da-yong, Guo Yong-xin, Zhang Hui-min. 2007. The contents of the microelements in leaves of apple and correlativity with firmness of fruit in West-Henan area. *Journal of Northwest Agricultural Sciences*, 16 (4): 138 - 141. (in Chinese)
- 刘德鸿, 刘红霞, 刘桂莲, 郭大勇, 郭永新, 张会民. 2007. 豫西地区苹果叶片微量元素含量及其与果实硬度的相关性. *西北农业学报*, 16 (4): 138 - 141.
- Liu Gong-xia, Zhang Hui-min, Liu De-hong, Zhou Wen-li, Wang Hao, Wang Liu-hao. 2008. Relationship between the nutrient content in Red Fuji apple leaf and the fruit quality in Western Henan Province. *Journal of Anhui Agriculture*, 36 (18): 7621 - 7622, 7662. (in Chinese)
- 刘红霞, 张会民, 刘德鸿, 周文利, 王浩, 王留好. 2008. 豫西地区红富士苹果叶片养分含量与果实品质的关系. *安徽农业科学*, 36 (18): 7621 - 7622, 7662.
- Lu Chao, Wang Jin-zheng, Xue Xiao-min, An Guo-ning. 2009. The relationship of regionalization characteristics of apple quality development with



- soil and leaves nutrient status in Shandong. *Shandong Agricultural Sciences*, (5): 79 - 84. (in Chinese)
- 路 超, 王金政, 薛晓敏, 安国宁. 2009. 山东苹果品质发育区域化特征及其与土壤和叶片养分状况的关系. *山东农业科学*, (5): 79 - 84.
- Wang Fu-lin, Men Yong-ge, Ge Shun-feng, Chen Ru, Ding Ning, Peng Fu-tian, Wei Shao-chong, Jiang Yuan-mao. 2013. Research on soil and leaf nutrient diagnosis of 'Red Fuji' apple orchard in two-dominant producing areas. *Chinese Agricultural Science*, 14: 2970 - 2978. (in Chinese)
- 王富林, 门永阁, 葛顺峰, 陈 汝, 丁 宁, 彭福田, 魏绍冲, 姜远茂. 2013. 两大优势产区 '红富士' 苹果园土壤和叶片营养诊断研究. *中国农业科学*, 14: 2970 - 2978.
- Wang Rong-ping, Liao Xin-rong, Li Shu-yi, Lan Pei-ling, Ding Xiao-dong. 2013. Correlations between nutrient concentrations in leaves and quality of fruit in seedless wampee. *Journal of South China Agricultural University*, 34 (2): 132 - 136. (in Chinese)
- 王荣萍, 廖新荣, 李淑仪, 蓝佩玲, 丁效东. 2013. 无核黄皮叶片养分含量和果实产量品质的关系. *华南农业大学学报*, 34 (2): 132 - 136.
- Wei Qin-ping. 1993. Optimum scheme of soil content and proportion for high yield and good quality. *Journal of Shandong Agricultural University*, 24 (1): 7 - 13. (in Chinese)
- 魏钦平. 1993. 苹果丰产优质土壤营养含量和比例优化方案研究. *山东农业大学学报*, 24 (1): 7 - 13.
- Wen Ming-xia, Nie Zhen-peng, Lin Mei, Feng Xian-jie, Wang Yan-bin. 2007. The correlation study of nutrients in leaves and soil and citrus quality. *Guangxi Horticulture*, 18 (3): 12 - 14. (in Chinese)
- 温明霞, 聂振朋, 林 媚, 冯先桔, 王燕斌. 2007. 土壤、叶片中营养成分与柑橘品质的相关性研究. *广西园艺*, 18 (3): 12 - 14.
- Xu Ai-chun, Chen Qing-hong, Gu Xia, Zhang Lei. 2011. Relationship between fruit quality and changing trend of mineral nutrients in kiwifruit leaves. *Hubei Agricultural Sciences*, 50 (24): 5126 - 5131. (in Chinese)
- 徐爱春, 陈庆红, 顾 霞, 张 蕾. 2011. 猕猴桃叶片矿质营养元素含量年变化动态与果实品质的关系. *湖北农业科学*, 50 (24): 5126 - 5131.
- Xu Hai-yan, Xiong wei, Yang Can-fang, Huang Yuan, Zeng Ming. 2012. Correlation analysis of mineral nutrients in citrus leaf and fruit quality in Kaixian County. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 34 (4): 27 - 32. (in Chinese)
- 徐海燕, 熊 伟, 杨灿芳, 黄 媛, 曾 明. 2012. 开县柑橘叶片营养状况与果实品质的相关性研究. *西南大学学报: 自然科学版*, 34 (4): 27 - 32.
- Yu Zhong-fan, Jiang Xue-ling, Wang Sheng, Shan Yu-zuo, Lü Xi-jiang, Li Xiao-ping. 2002. Preliminary study of relationship between tree nutrition and fruit quality in 'Fuji' apple. *Hebei Fruit*, (6): 6 - 7. (in Chinese)
- 于忠范, 姜学玲, 王 盛, 单玉佐, 吕熙江, 李晓萍. 2002. 富士苹果树体营养与果实品质关系初探. *河北果树*, (6): 6 - 7.
- Zhang Jian-jun, Ma Xi-man, Du Ji-zhuang, Li Yun-ji, Ma Ji-hong. 1994. The relationships of shoots and leaves and fruit quality in Red Fuji apple. *China Fruit*, (3): 15 - 17. (in Chinese)
- 张建军, 马希满, 杜纪壮, 李云济, 马继红. 1994. 红富士苹果树新梢及叶片与果实品质的关系. *中国果树*, (3): 15 - 17.
- Zhang Lin, Shi Xue-gen, Fan Gai-en, Lin Mei. 2010. The relationship of nutrients in leaves and soil and satsuma mandarin fruit quality. *Zhejiang Agricultural Sciences*, (5): 961 - 963. (in Chinese)
- 张 林, 石学根, 凡改恩, 林 媚. 2010. 土壤和叶片养分与温州蜜柑果实品质的关系. *浙江农业科学*, (5): 961 - 963.
- Zhang Qiang, Wei Qin-ping, Jiang Rui-shan, Liu Xu-dong, Liu Hui-ping, Wang Xiao-wei. 2011a. Correlation analysis of fruit mineral nutrient contents with several key quality indicators in 'Fuji' apple. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (10): 1963 - 1968. (in Chinese)
- 张 强, 魏钦平, 蒋瑞山, 刘旭东, 刘惠平, 王小伟. 2011a. 富士苹果矿质营养含量与几个主要品质指标的相关性分析. *园艺学报*, 38 (10): 1963 - 1968.
- Zhang Qiang, Wei Qin-ping, Liu Hui-ping, Jiang Rui-shan, Liu Xu-dong, Wang Xiao-wei. 2011b. Multivariate analysis and optimum proposals of the relationship between soil nutrients and fruit qualities in apple orchard. *Chinese Agricultural Science*, 44 (8): 1654 - 1661. (in Chinese)
- 张 强, 魏钦平, 刘惠平, 蒋瑞山, 刘旭东, 王小伟. 2011b. 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.
- Zhang Qiang, Wei Qin-ping, Liu Xu-dong, Liu Hui-ping, Jiang Rui-shan, Wang Xiao-wei. 2011c. Multivariate analysis of relationship between soil nutrients, pH and fruit mineral nutrition in Fuji apple orchards of Changping, Beijing. *Journal of fruit science*, 28 (3): 377 - 383. (in Chinese)
- 张 强, 魏钦平, 刘旭东, 刘惠平, 蒋瑞山, 王小伟. 2011c. 北京昌平苹果园土壤养分、pH 与果实矿质营养的多元分析. *果树学报*, 28 (3): 377 - 383.