

## 砀山酥梨果实发育期间树体矿质元素含量的变化及其相关性分析

张晓玲<sup>1,2</sup>, 高正辉<sup>2,3</sup>, 刘春燕<sup>2,3</sup>, 伊兴凯<sup>2,3</sup>, 秦改花<sup>2,3</sup>, 陈争锋<sup>4</sup>, 徐义流<sup>2\*</sup>

(1. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031; 2. 园艺作物种质创制与生理生态安徽省重点实验室, 合肥 230031; 3. 安徽省农业科学院园艺研究所, 合肥 230031; 4. 砀山县园艺场, 砀山 235300)

**摘要:**以砀山酥梨为材料,研究了果实发育过程中,果实、叶片以及一年生枝条内各主要矿质元素含量的变化规律及其在各器官间的相关性,以期为砀山酥梨合理适时施肥提供参考。结果表明,果实发育过程中,叶片内N、P、K、Zn、Cu、B含量呈下降趋势,Ca、Fe和Mn含量呈上升趋势,而Mg、S含量变化不显著;一年生枝条内N、P、K、Mg、S、Cu、Zn和B含量总体呈下降趋势,Ca和Mn含量呈上升趋势,Fe含量呈波动性变化;果实内N、P、K、Ca、Mg、S、Mn、Cu、Zn和B含量呈先下降后稳定的趋势,Fe含量先显著下降,后呈现出波动性变化。叶片中N、P、K、Cu、Zn、B含量间均表现出极显著的正相关,Ca含量与K、B呈极显著负相关,Mn和N、P、K呈极显著负相关;1年生枝条中N、P、K、Cu、Zn含量之间呈显著正相关,Ca与Fe含量呈极显著负相关,Mn和K含量呈极显著负相关;果实中Fe含量与B含量呈显著正相关,其余各元素间呈极显著正相关。叶片中N、P、K、Zn、B和果实、一年生枝条中对应的矿质元素含量均呈极显著正相关。砀山酥梨植株中营养元素的分配,随着生长中心的转移而变化,施肥时要根据矿质元素的变化特点,有针对性地提前施入。

**关键词:**砀山酥梨; 矿质元素; 动态变化; 相关性

中图分类号: S661.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2018)01-0181-06

## Changes and correlations of mineral contents in 'Dangshansu' pear during fruit development

ZHANG Xiaoling<sup>1,2</sup>, GAO Zhenghui<sup>2,3</sup>, LIU Chunyan<sup>2,3</sup>, YI Xing kai<sup>2,3</sup>, QIN Gaihua<sup>2,3</sup>, CHEN Zhengfeng<sup>4</sup>, XU Yiliu<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031;

2. Key Laboratory of Genetic Improvement and Ecophysiology of Horticultural Crop, Hefei 230031;

3. Institute of Horticulture, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031;

4. Dangshan County Farm, Dangshan 235300)

**Abstract:** In order to explore the accumulation characteristics of minerals during the development of 'Dangshansu' pear fruit, the changes of main mineral elements in fruits, leaves and 1-year-old branches were studied. The results showed that during the fruit development, the contents of N, P, K, Zn, Cu and B decreased, while the contents of Ca, Fe and Mn increased in the leaf. The contents of Mg and S in the leaf showed no remarkable changes. In the one-year-old branch, the contents of N, P, K, Mg, S, Cu, Zn and B decreased, while the contents of Ca and Mn increased. The content of Fe was fluctuant during the fruit development. In the fruit, the contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn and B decreased firstly and then had no remarkable changes and the content of Fe decreased significantly firstly, and then showed a fluctuating change. In the leaf, the contents of N, P, K, Cu, Zn and B showed a positive correlation ( $P < 0.01$ ), while the Ca content was negatively correlated with the contents of K and B ( $P < 0.01$ ) and the Mn content was negatively correlated with the contents of N, P and K ( $P < 0.01$ ). In the one-year-old shoot, the contents of N, P, K, Cu and Zn showed positive correlation ( $P < 0.05$ ), while the Ca content was negatively correlated with the Fe content ( $P < 0.01$ ), and the Mn content was negatively correlated with the K content ( $P < 0.01$ ). In the fruit,

收稿日期: 2017-06-19

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2014BAD16B07)和园艺作物种质创制及生理生态安徽省重点实验室绩效补助项目共同资助。

作者简介: 张晓玲, 高级农艺师。E-mail: xlingzh@126.com

\* 通信作者: 徐义流, 博士, 研究员。E-mail: yiliuxu@163.com

the content of Fe and B showed positive correlation ( $P < 0.05$ ), and the contents of other elements also showed positive correlation ( $P < 0.01$ ). There were significant positive correlations among N, P, K, Zn and B in the leaf, fruit and one-year-old shoot ( $P < 0.01$ ). The mineral contents in 'Dangshansu' pear were changing during the fruit development; therefore, the fertilization should be conducted based on the change characteristics of mineral elements.

**Key words:** 'Dangshansu' pear; mineral contents; dynamic changes; correlations

矿质元素对果树生长发育、果实产量和品质具有直接的影响。研究果树矿质元素的变化规律,对明确果树矿质元素需求状况、探索树体对矿质元素的吸收和利用机制具有重要意义,也可为科学施肥打下理论基础。在果树上,关于矿质营养的研究报道较多,如苹果梨、鸭梨、库尔勒香梨、金花梨、砀山酥梨、杏、核桃和板栗等不同营养器官和生殖器官中的矿质营养变化研究<sup>[1-11]</sup>,石榴和枇杷树体矿质营养分布和积累特性研究<sup>[12-14]</sup>,矿质营养与激素代谢、果实品质,以及套袋对果实矿质营养影响的研究<sup>[15-18]</sup>等,从不同侧面探究果树不同器官中矿质营养的变化情况。但是,这些研究或只涉及单个器官,或只涉及大中量元素,极少涉及多器官,兼顾大中微量元素影响的研究。本研究对砀山酥梨的叶片、1年生枝条和果实中的11种矿质元素含量变化进行了系统的分析比较,并研究各元素含量之间的相关性,旨在更全面地了解砀山酥梨树体中矿质元素的变化规律,丰富果树矿质营养理论,为砀山酥梨科学施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2015年4月,在安徽省砀山县园艺场砀山酥梨试验园内,选取树势中庸、生长势相近的60年生砀山酥梨为试材。该园株行距4 m×8 m,树形为基部多主枝两层形,树高4.2 m,树冠东西直径5.7 m,南北直径4.0 m。园区土壤为潮土类泡沙土,0~30 cm土壤基本理化性质为:pH7.28,有机质含量4.2 g·kg<sup>-1</sup>,全氮含量2.3 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮含量20.55 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷含量18.26 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量34.63 mg·kg<sup>-1</sup>,有效硼含量0.16 mg·kg<sup>-1</sup>,有效铁含量3.35 mg·kg<sup>-1</sup>,有效铜含量2.31 mg·kg<sup>-1</sup>,有效锌含量1.2 mg·kg<sup>-1</sup>和有效锰含量1.88 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 设计与取样方法

在试验园内,随机选取田间管理相同的12株砀山酥梨树,4株为1小区,重复3次。先后于2015年4月28日、5月29日、6月30日、7月30日、8月31日、9月31日取样,共6次。在每株树东、南、西、北4个方位,分别随机取30片叶、5个果、

5枝新梢(取新梢中部5 cm枝段)为样品,每次取样将每个小区样品分别混合成1个叶片样品、1个果实样品和1个新梢样品。

### 1.3 测定方法

将取得的样品经蒸馏水、去离子水清洗后,置于105℃鼓风烘箱中烘30 min,然后在65℃下烘8 d。全量的N含量采用凯氏定氮蒸馏法进行测定,仪器型号为KII00;全量的P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Cu、Zn和B含量用电感耦合等离子体原子发射光谱法进行测定,仪器型号为ICAP6000SERIES。

### 1.4 数据分析

用EXCEL和SPSS软件对试验数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同器官矿质元素含量的变化

**2.1.1 叶片中矿质元素含量动态变化** 叶片生长初期(4月28日),叶片中N、P、K、Cu、Zn和B含量最高,其中,N、K的含量高达28.35 g·kg<sup>-1</sup>、30.57 g·kg<sup>-1</sup>,随着叶片生长,其含量表现出下降趋势。至5月29日,N、K和Zn含量快速下降( $P < 0.05$ ),N、K含量最低值出现在8月31日,P、Cu含量最低值出现在7月30日,Zn含量最低值出现在6月30日。最低值出现后,6种矿质元素含量均表现缓慢上升(图1)。

Ca、Fe、Mn的含量总体呈现上升趋势。其中,Ca含量呈现稳步增长趋势,从14.10 g·kg<sup>-1</sup>(4月28日)增长至22.31 g·kg<sup>-1</sup>(9月31日);Fe含量呈波动趋势,最小值为149.86 mg·kg<sup>-1</sup>(5月29日),最大值为254.76 mg·kg<sup>-1</sup>(9月31日);Mn含量从4月28日至6月30日出现一个小吸收峰,峰值在5月29日(54.01 mg·kg<sup>-1</sup>)之后,Mn含量缓慢上升(图1)。

Mg、S含量变化不明显( $P > 0.05$ )。其中,Mg含量稳定在4.39~4.82 g·kg<sup>-1</sup>之间,S含量稳定在1.73~2.75 g·kg<sup>-1</sup>之间(图1)。

**2.1.2 一年生枝中矿质元素含量的动态变化** 在一年生枝条中,N含量先下降后上升,K含量呈现下降趋势,而P、Mg、Cu、Zn、S和B含量总体变

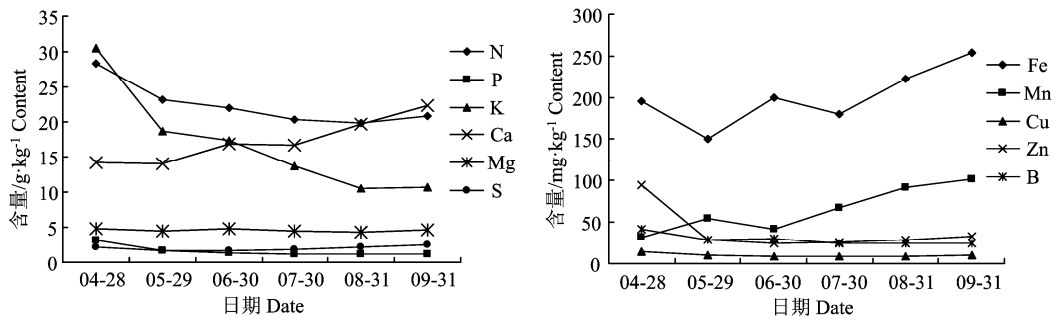


图 1 ‘砀山酥梨’叶片中矿质元素的动态变化

Figure 1 Dynamics of mineral elements contents in leaves during fruit development of ‘Dangshansu’pear

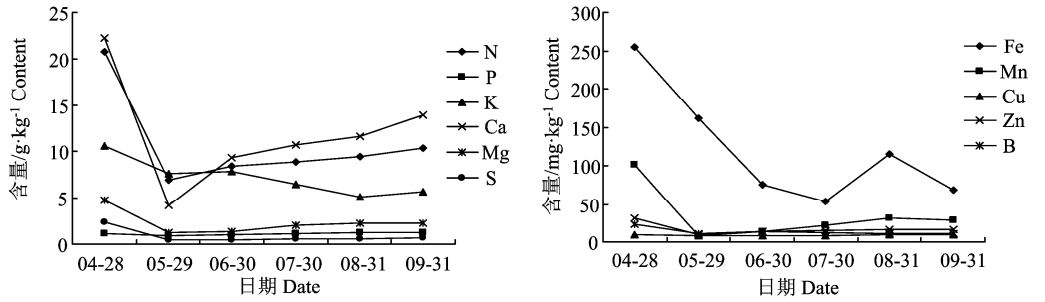


图 2 ‘砀山酥梨’一年生枝条中矿质元素的动态变化

Figure 2 Dynamics of mineral elements contents in one-year-old branches during fruit development of ‘Dangshansu’pear

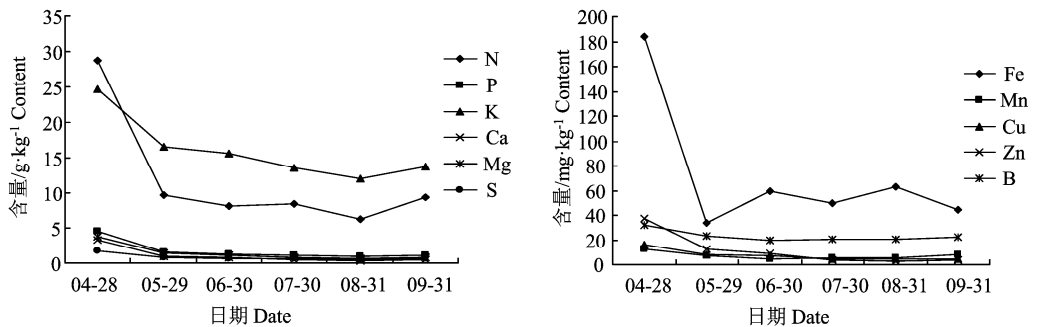


图 3 ‘砀山酥梨’果实发育期内果实中矿质元素的动态变化

Figure 3 Dynamics of mineral elements content in fruits during fruit development of ‘Dangshansu’pear

表 1 叶片中矿质元素含量间相关性

Table 1 The correlation of mineral content in ‘Dangshansu’pear leaves

元素 Element	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
N	1										
P	0.95**	1									
K	0.93**	0.95**	1								
Ca	-0.53*	-0.54*	-0.67**	1							
Mg	0.31	0.28	0.34	-0.09	1						
S	-0.01	0.08	0.02	0.21	0.32	1					
Fe	-0.30	-0.21	-0.34	0.66**	0.27	0.62**	1				
Mn	-0.68**	-0.65**	-0.74**	0.66**	-0.11	0.59**	0.63**	1			
Cu	0.84**	0.87**	0.82**	-0.20	0.27	0.09	-0.03	-0.46*	1		
Zn	0.84**	0.93**	0.86**	-0.40	0.34	0.32	0.04	-0.40	0.87**	1	
B	0.83**	0.83**	0.88**	-0.63**	0.56*	0.32	-0.12	-0.48*	0.65**	0.83**	1

注：“\*”表示在 5% 水平上显著相关，“\*\*”表示 1% 水平上显著相关。下同。

Note: “\*” Stands for significant difference at 0.05 level, and “\*\*” means significant difference at 0.01 level. The same below.

表 2 一年生枝条中矿质元素含量间相关性

Table 2 The correlation of mineral content in 'Dangshansu' pear one-year-old branches

元素 Element	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
N	1										
P	0.87**	1									
K	0.82**	0.80**	1								
Ca	-0.13	0.01	-0.48*	1							
Mg	0.75**	0.82**	0.54*	0.16	1						
S	0.95**	0.82**	0.74**	-0.10	0.84**	1					
Fe	0.29	0.24	0.45	-0.70**	0.10	0.21	1				
Mn	-0.24	-0.11	-0.59**	0.78**	0.25	-0.13	-0.42	1			
Cu	0.69**	0.74**	0.64**	0.04	0.48*	0.53*	0.37	-0.09	1		
Zn	0.89**	0.88**	0.80**	-0.03	0.87**	0.88**	0.19	-0.08	0.65**	1	
B	0.80**	0.79**	0.94**	-0.43	0.64**	0.77**	0.34	-0.50*	0.52*	0.84**	1

表 3 果实中矿质元素含量间相关性

Table 3 The correlation of mineral content in 'Dangshansu' pear fruits

元素 Element	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
N	1										
P	0.98**	1									
K	0.93**	0.96**	1								
Ca	0.97**	0.98**	0.95**	1							
Mg	0.97**	0.99**	0.96**	0.98**	1						
S	0.97**	0.97**	0.95**	0.98**	0.98**	1					
Fe	0.86**	0.87**	0.82**	0.90**	0.83**	0.87**	1				
Mn	0.87**	0.87**	0.80**	0.81**	0.87**	0.86**	0.67**	1			
Cu	0.91**	0.94**	0.96**	0.97**	0.94**	0.94**	0.87**	0.73**	1		
Zn	0.96**	0.99**	0.96**	0.98**	0.99**	0.97**	0.83**	0.84**	0.95**	1	
B	0.78**	0.78**	0.73**	0.72**	0.80**	0.76**	0.55*	0.83**	0.65**	0.78**	1

表 4 叶片、一年生枝条、果实间矿质元素含量间相关性分析

Table 4 The correlation of mineral elements among 'Dangshansu' pear leaves, one-year-old branches and fruits

元素 Element	果实与叶间相关性 Correlation between fruits and leaves	果实与一年生枝条间相关性 Correlation between fruits and one-year-old branches	叶与一年生枝条间相关性 Correlation between leaves and one-year-old branches
N	0.86**	0.90**	0.69**
P	0.98**	0.78**	0.71**
K	0.95**	0.93**	0.92**
Ca	-0.50*	-0.55*	0.83**
Mg	0.30	0.48*	0.11
S	0.21	0.84**	0.51*
Fe	0.01	0.38	-0.39
Mn	-0.30	-0.39	0.83**
Cu	0.88**	0.55*	0.71**
Zn	0.93**	0.71**	0.83**
B	0.71**	0.59**	0.77**

化相对平稳,但从4月28日至5月29日,P、Mg、S、B下降显著( $P < 0.05$ )。N、P、Mg、S、Cu和Zn含量最低值出现在5月29日,分别为 $6.90 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.87 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $4.24 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $1.30 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.41 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、

$8.16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $9.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,之后呈现缓慢增长。K元素最低值出现在8月31日( $5.14 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ );B元素在枝条生长初期含量最高 $24.88 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (4月28日),此后快速下降,5月29日至9月31日,含量

变化不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 2)。

Fe 含量呈现波动性变化, 枝条生长初期含量升高, 最高值达  $161.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (5 月 29 日), 之后降至最低值  $53.20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (7 月 30 日), 此后 Fe 元素出现一个吸收峰, 峰值在 8 月 31 日, 含量为  $115.32 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; Mn 含量从  $7.59 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (4 月 28 日) 上升至  $28.60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (9 月 31 日); Ca 含量在 5 月 29 日下降至  $4.24 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 之后一直稳步上升至  $13.93 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (图 2)。

**2.1.3 果实中矿质元素含量动态变化** 在果实中, N、P、K、Ca、Mg、S、Mn、Cu、Zn 和 B 含量呈现出先下降, 然后变化相对平稳, 且 N、P、K、Ca、Mg、S 和 Zn 下降至 8 月 31 日呈现出最低值, 分别为  $6.17 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.94 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $11.96 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.38 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.67 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $0.47 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 而 Mn、B 含量下降至 6 月 30 日表现出最低值, 分别为  $4.63 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $19.88 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; Fe 含量在 4 月 28 日至 5 月 29 日显著下降 ( $P < 0.05$ ), 之后便呈现出波动性变化 (图 3)。

## 2.2 不同器官间矿质元素含量的相关性

**2.2.1 叶片中矿质元素含量间相关性分析** 对“砀山酥梨”叶片中 11 种矿质元素的相关性分析, N、P、K、Cu、Zn 和 B 含量均表现出极显著的正相关。Ca 含量与 K、B 含量呈极显著负相关, 与 Fe、Mn 含量呈极显著正相关; Mn 含量与 N、P、K 含量表现出极显著负相关, 与 Ca、S、Fe 含量呈极显著正相关 (表 1)。

**2.2.2 一年生枝条中矿质元素含量间相关性分析** 一年生枝条中, N、P、K、Cu、Zn 含量之间呈极显著正相关; Ca 含量与 Fe 含量呈极显著负相关, 与 Mn 含量呈极显著正相关。Mg 含量与 N、P、K、S、Cu、Zn 和 B 含量间均表现出正相关。S 含量与 N、P、K、Cu、Zn 和 B 呈正相关, Mn 含量与 K 呈极显著负相关 (表 2)。

**2.2.3 果实中矿质元素含量间相关性分析** 果实中 11 种矿质元素含量间均呈出正相关。其中 Fe 含量与 B 含量呈显著正相关, 其余各元素含量间均呈极显著正相关, P、Mg 和 Zn 含量的相关性系数达 0.99 (表 3)。

**2.2.4 叶片、一年生枝条、果实间矿质元素含量间相关性分析** 叶片 N、P、K、Cu、Zn、B 和对应的果实中矿质元素含量呈极显著正相关, 叶片 Ca 与果实 Ca 呈负相关; 一年生枝条中 N、P、K、S、Zn、B 和对应的果实中矿质元素含量呈极显著正相关, 一年生枝条中 Mg、Cu 含量与果实中 Mg、Cu 含量呈显著正相关, 一年生枝条中 Ca 与果实中 Ca 含量

呈显著负相关; 在叶片 N、P、K、Ca、Mn、Cu、Zn、B 和对应一年生枝条矿质元素含量之间呈极显著正相关, 叶片 S 含量和一年生枝条 S 含量呈显著正相关 (表 4)。

## 3 讨论与结论

在果树植株生长过程中, 受初生代谢和次生代谢的影响, 不同器官中的矿质元素对各器官细胞生长发育起到不同程度的促进和调节作用, 各器官的生长发育对不同矿质元素的需求和吸收存在差异, 但也表现出一定的共性。例如, 在砀山酥梨叶片、枝条和果实中, N、P、K、Zn、Cu 和 B 的含量在展叶、幼果期含量最高, 之后迅速减少。Ca 元素在叶片和枝条中呈现递增的趋势, 并且叶片在 8 月 31 日后、枝条在 6 月 30 日后, Ca 元素成为叶片和枝条中 11 种矿质元素含量最高的元素, 这个结果与鸭梨的情况相似<sup>[5]</sup>。由此可见, 钙元素在砀山酥梨叶和枝条生长过程中起到极其重要的作用, 其含量不断增加, 且在叶片成熟后仍然在不断积累; 而在幼果中 Ca 元素含量最高, 随后便逐渐降低。这种变化趋势与苹果和猕猴桃的变化基本一致<sup>[19-20]</sup>。果实对钙的积累主要发生在幼果期, 并随着果实生长发育而降低, 但在柑橘中果实钙含量则表现“V”型变化<sup>[21]</sup>, 这是否因为落叶果树与常绿果树果实生长发育的不同而引起的, 还需进一步研究。Fe 元素在不同器官中均表现波动变化趋势, 在叶片中总体呈上升趋势, 但是在枝条和果实中含量总体呈下降趋势。Zn 在幼叶、嫩枝和幼果中含量高, 此后含量相对稳定。Zn 参与生长素代谢, 对成熟叶片的光合作用及叶绿素合成都有一定影响, 缺 Zn 时老叶中的 Zn 可以向新叶移动, 但转移率较低, 导致枝条节间变短、叶片变窄变小、果实变小<sup>[21-22]</sup>。由此可见, 砀山酥梨植株中营养元素的分配, 随着生长中心的转移而变化, 在施肥时要根据这些变化特点, 有针对性地提前施入。

在果实发育过程中, 11 种矿质元素在幼果中含量均处于高水平, 这表明, 器官在细胞分裂开始时需要较高的营养积累, 是一年中营养元素供应的关键时期, 以上数据与桃<sup>[23]</sup>、鸭梨<sup>[5]</sup>、欧李<sup>[24]</sup>中报道基本一致。果实在幼果期处于细胞分裂期, 对矿质元素的需求迫切, 随着果实发育, 果肉细胞由数量增加过渡到体积膨大, 果实重量增加, 果实单位鲜重矿质元素含量降低; 成熟果实单位鲜重矿质元素含量较低, 有利于树体节约矿质营养<sup>[14]</sup>。为此, 秋季温度相对较高的地区, 生产上提倡秋季施用基肥,

增加树体矿质营养储备,或春季展叶期和幼果期采取叶面施肥措施进行补充,以满足果实发育初期对矿质营养的需求。

各个器官之间矿质元素的相关性与其在植物体内的移动性有一定的关系<sup>[22]</sup>。在黄金梨中,难移动的Ca、Mg、Mn在叶片和果实中呈负相关,易移动的N、P、K则表现出正相关<sup>[25]</sup>。在砀山酥梨叶片与果实、枝条与果实中,Ca含量均表现出负相关;在叶片和枝条中,Ca表现出极显著的正相关,可能与不同器官间Ca运输特性有关。

植物体中,Mn的吸收不仅受到土壤pH的影响,而且受到其他阳离子的竞争,如 $Fe^{2+}$ 等,因此,Fe与Mn的含量常表现为负相关<sup>[22]</sup>。而在本研究中,叶片和果实中Fe与Mn含量却表现正相关,与已有的研究结论不一致,可能的原因,一是本研究试材取自pH7.28的土壤,在土壤pH>7时,Mn吸收受到严重影响,树体中Mn含量处于较低水平,对其他阳离子的影响没有真正体现;二是本研究中各种矿质元素均为全量,全Fe的含量包括 $Fe^{2+}$ 和 $Fe^{3+}$ ,而Mn真正影响的是 $Fe^{2+}$ 的含量;三是Mn含量少,可能促进了 $Fe^{3+}$ 的还原和植物体对Fe的吸收。在砀山酥梨的叶片、一年生枝条、果实等器官中,各种矿质元素间存在的相互作用与元素性质、在树体内盈亏程度等直接相关。

本次研究了砀山酥梨生长发育过程中叶片、一年生枝条、果实的营养元素含量变化趋势,不一定是绝对量的变化,因为树体一年生器官中矿质营养绝对量变化与土壤的有效供应量和树体贮存量等有直接关系。此外,同一器官中、不同器官间矿质营养的互作效应等问题,还有待深入研究。

## 参考文献:

- [1] 景淼,翟明普,高香玲,等. '木瓜杏'叶片中矿质元素含量的动态变化研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 199-203.
- [2] 于冬梅,戴永利,刘振盼,等. 平欧榛子达维1年生枝条主要营养元素年动态规律研究[J]. 辽宁林业科技, 2012(3): 8-9.
- [3] 陆修闽,郑少泉,蒋际谋,等. '早钟6号'枇杷主要营养元素含量的年周期变化[J]. 园艺学报, 2000, 27(4): 240-244.
- [4] 曲柏宏,朴红权,朴一龙,等. 苹果梨树营养状况的初步研究[J]. 园艺学报, 1996, 23(4): 334-338.
- [5] 卢伟红,张玉星,张建光,等. 鸭梨叶片和果实10种营养元素含量周年变化的研究[J]. 中国果树, 2012(6): 26-29.
- [6] 张森,潘立忠,王小兵,等. 库尔勒香梨叶内主要矿质元素年生长动态变化的研究[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(8): 41-43.
- [7] 贾兵,衡伟,刘莉,等. 砀山酥梨叶片矿质元素含量年变化及其相关性分析[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(2): 212-217.
- [8] 闫敏,李磊,霍晓兰,等. 酥梨营养器官中矿质元素周年动态变化[J]. 山西农业科学, 2011, 39(8): 800-802.
- [9] 包丽杰,刘威生,陈晓静,等. 杏叶片矿质营养研究进展[J]. 果树学报, 2008, 25(1): 102-106.
- [10] 张美勇,徐颖,杨茂林. 核桃生殖器官的矿质营养动态[J]. 中国农学通报, 2004, 20(2): 132-138.
- [11] 郑瑞杰,王德永,雷鸣. 日本栗叶片矿质营养元素含量年动态变化的研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4): 14-17.
- [12] 张晓玲,徐义流,束冰,等. 10年生石榴树体微量元素分布特性[J]. 园艺学报, 2015, 42(SD): 2632.
- [13] 张晓玲,徐义流,束冰,等. 10年生石榴植株大量矿质元素分布与累积特性[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(4): 540-544.
- [14] 张晓玲,徐义流,齐永杰,等. 枇杷树体矿质养分积累及分布特性[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(2): 283-289.
- [15] 赵竹青,王运华. 矿质营养对生长素代谢影响的研究现状与展望[J]. 植物学通报, 1998, 15(1): 37-42.
- [16] 慕康国,赵秀琴,李健强. 矿质营养与植物病害关系研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(1): 84-90.
- [17] 张强,魏钦平,蒋瑞山,等. 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[J]. 园艺学报, 2011, 38(10): 1963-1968.
- [18] 何为华,王勤,张世英,等. 套袋、喷钙对酥梨果实矿质营养和品质的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(1): 18-21.
- [19] QUINLAN J D. Chemical composition of developing and shed fruits of Laxton's Fortune apple [J]. J Horticult Sci Biotech, 1969, 44(1): 97-106.
- [20] 王建,同延安,高义民,等. 猕猴桃树体年生长周期内生物量及不同器官钙累积动态研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(9): 66-72.
- [21] 张绍铃. 梨学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 469.
- [22] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002, 87.
- [23] 及华,冯云霄,张海新. 桃果实发育期矿质元素含量的动态变化及相关性分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(3): 1227-1230.
- [24] 马建军,张立彬. 野生欧李生长期矿质营养元素含量的变化[J]. 园艺学报, 2004, 31(2): 165-168.
- [25] 林敏娟,徐继忠,陈海江,等. 黄金梨叶片、果实中矿质元素含量的周年变化动态[J]. 河北农业大学学报, 2006, 28(6): 23-27.