

# 化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响

赵佐平<sup>1,2</sup>, 高义民<sup>1</sup>, 刘 芬<sup>1</sup>, 王小英<sup>1</sup>, 同延安<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup> 陕西理工学院, 陕西汉中 723001)

**摘 要:** 通过连续 5 年(2005—2009)田间定位试验, 比较只施磷钾化肥(PK)、只施 NPK 化肥(NPK)、施等量氮磷钾养分有机肥(M)、NPK 化肥和有机肥配合施用(化肥有机肥氮各占一半, NPKM)对苹果树叶片养分含量、果实产量及品质的影响。结果表明: 萌芽期 NPK 处理叶片 N、P、K 养分含量高于 NPKM 和 M 处理, 而果实膨大期至成熟期, NPKM 及 M 处理的叶片 N、P、K 含量显著高于 NPK 和 PK 处理。连续 5 年不同施肥处理使苹果平均产量提高 34.6% ~ 42.3%, 年均产量顺序为 NPKM > NPK ≥ M > PK。NPKM 处理 5 年平均产量高达 36.88 t·hm<sup>-2</sup>。2009 年 NPKM 处理果径大于 80 mm 的优质商品果数所占比例达 71.34%, NPKM 处理的果实糖酸比最高(39.3)。维生素 C、可溶性固形物含量及硬度均为 NPKM 处理最高。NPKM 和 M 处理的土壤有机质含量提高幅度较大, 较对照(PK)处理分别提高了 69.6%和 58.5%。化肥有机肥配施提高了苹果产量和品质, 果园土壤肥力增强, 是果园简单易行的环保型施肥技术。

**关键词:** 苹果; 化肥; 有机肥; 产量; 品质

**中图分类号:** S 661.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2013) 11-2229-08

## Effects of Organic Manure Application Combined with Chemical Fertilizers on the Leaf Nutrition, Quality and Yield of Fuji Apple

ZHAO Zuo-ping<sup>1,2</sup>, GAO Yi-min<sup>1</sup>, LIU Fen<sup>1</sup>, WANG Xiao-ying<sup>1</sup>, and TONG Yan-an<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> College of Natural Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; <sup>2</sup> Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China)

**Abstract:** To evaluate the effect of organic manure application combined with chemical fertilizers on apple yield and quality under long-term located experiment, a five year field experiment was conducted in dry-land orchards located at Weibei, Shaanxi Province. The study included four treatments: Inorganic P and K (PK), swine manure only (M), inorganic N, P and K (NPK), and 1/2NPK and 1/2M (NPKM). Each treatment was replicated three times. The foliar nutrition, apple quality, apple yield and soil organic matter content at each treatment were compared. The results showed significant differences between the rational fertilized and irrational fertilized (PK) treatment. Apple yield was increased by 34.6% to 42.3% under the different fertilization. The apple yield decreased in the order NPKM > NPK ≥ M > PK. In

收稿日期: 2013-06-17; 修回日期: 2013-11-11

基金项目: 国际植物营养研究所项目 (IPNI)

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

the NPKM treatment, the percentage of apple with diameters  $> 80$  mm increased to 71.34% in 2009. The sugar to acid (S : A) ratio was the highest in the NPKM treatment. The vitamin C content was greater in the fertilized treatments than in the PK treatment. The soluble solid, hardness were the highest in the NPKM treatment. And soil organic matter increased by 69.6% and 58.5% respectively in the M and NPKM treatment after five-year field experiment, which were significantly higher than those in the PK treatment. Organic manure application with chemical fertilizers increased the apple yield and apple quality, reduced the risk of environmental pollution, and improved soil fertility greatly. It could be a good practical technique that protects the environment and maintains or raises the apple yield and apple quality in this region.

**Key words:** apple; chemical fertilizer; organic manure; apple yield; apple quality

关于苹果园施肥的研究报道已有很多(刘侯俊等, 2002; 王勤等, 2002; 彭福田和姜远茂, 2006; 金会翠等, 2007; 刘汝亮等, 2007; 孙霞等, 2011; 高义民等, 2012, 2013; 赵佐平等, 2012; 王小英等, 2013), 但主要集中在单施化肥或施肥现状评价等方面, 有关化肥和有机肥配合施用对苹果产量品质影响的相关报道相对较少。本研究中通过连续 5 年田间试验, 在陕西渭北旱塬苹果优势生长区观测了单施有机肥及配合施化肥苹果叶片营养吸收特征, 综合分析了化肥有机肥配施对苹果产量、品质及果园土壤有机质含量变化的影响。以期建立优质高产的苹果施肥技术体系提供必要的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验园概况

试验于 2004—2009 年在陕西渭北旱塬苹果优生区的合阳县休里村西北农林科技大学旱农试验站进行。该区位于东经  $109^{\circ}58'33''$ , 北纬  $34^{\circ}59'16''$ , 海拔高度 950 m, 光照充足, 年平均气温  $11.5^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 536.5 mm, 最大蒸发量 1 005.8 mm。供试果园面积  $10\text{ hm}^2$ , 地势平坦, 可灌溉, 土壤为黑垆土, 土壤肥力状况为中等偏下。土壤理化性质为: 有机质  $10.7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 铵态氮  $9.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 硝态氮  $136.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $11.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $172.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

果园主栽品种为红富士, 全部以矮化砧木  $M_{26}$  为中间砧。株行距  $3\text{ m}\times 4\text{ m}$ , 树龄至 2009 年为 15 年。

### 1.2 试验设计

试验于 2004 年苹果采收后布置, 至 2009 年苹果采收后结束。

选树势基本一致无病虫害的 6 株树为 1 个处理小区, 重复 3 次, 小区随机排列。共设 4 个处理: 对照, 只施磷钾化肥 (PK); 只施 NPK 化肥 (NPK); 只施有机肥猪粪 (M); NPK 化肥和有机肥配施 (化肥有机肥氮各占一半, NPKM)。

根据陕西果树合理施肥推荐量: 苹果产量适宜保持在  $25\sim 45\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 肥料施用量为 N  $0.24\sim 0.36\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $0.22\sim 0.34\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $0.16\sim 0.24\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 有机肥  $40\sim 60\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$  (刘侯俊等, 2002; 路克国等, 2003; 王圣瑞等, 2004; 赵佐平等, 2012)。本试验连续 5 年施肥量均为: 纯 N  $0.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $0.221\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $0.242\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。根据《中国有机肥料养分志》猪粪平均养分含量 (含 N 0.601%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.402%,  $\text{K}_2\text{O}$  0.441%) 计算有机猪粪用量为  $55\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。所用氮肥为尿素, 磷肥为普通过磷酸

钙，钾肥为氯化钾。猪粪、磷肥、钾肥作为基肥秋季苹果采收后一次施入，尿素 2/3 作为基肥施入，1/3 在春季作为追肥施入。施肥方式均为条状沟施。果园其他管理措施同当地普通果园一致。

### 1.3 测定项目及测定方法

从 2005 年开始在果实成熟期采收，每株从东南西北 4 个方向各采 16 个果实，将每次重复的果实混合，带回实验室进行品质测定。按小区收获果实，计算产量。可溶性固形物用泉州光学仪器厂产的 WYT-4 型糖量计测定。可溶性糖用铜还原—直接滴定法，维生素 C 用 2,6-二氯酚蓝比色法，有机酸用 NaOH 滴定法（鲍士旦，2000）测定。硬度用 HP-230 型硬度仪测定。2009 年于萌芽后期 4 月下旬开始每月采叶片 1 次，共采样 5 次。每次每株树从东南西北方向上中下共采叶 100 片以上，同一次重复混合后装入塑料袋带回实验室，先用自来水冲洗后再用蒸馏水进行清洗，之后在 105℃ 条件下杀酶 15~20 min，然后在 70~80℃ 下烘干，磨碎过筛后加浓硫酸和双氧水消化，全氮和磷含量采用 Tector5020 流动注射分析仪测定。全钾含量用火焰光度计法。土样分别于试验开始前（2004 年底）和结束后（2009 年底）按不同处理取 0~40 cm 土层土壤，分析其有机质含量。

采用 Excel 和 DPS 软件对试验数据进行统计分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 化肥有机肥配施土壤有机质变化

除对照外，各施肥处理下 5 年后土壤有机质含量均得到一定程度的提高；NPK 化肥（NPK）处理土壤有机质含量较 5 年前提高了 17.6%，可能是果园采收后落叶、杂草等翻埋腐烂所致；有机肥猪粪（M）及化肥有机肥配施（NPKM）处理土壤有机质分别提高了 69.6% 和 58.5%，增加幅度显著高于 NPK 化肥（NPK）处理（图 1）。因此，施用有机肥料及化肥有机肥配施有利于提高土壤有机质含量，培肥地力。

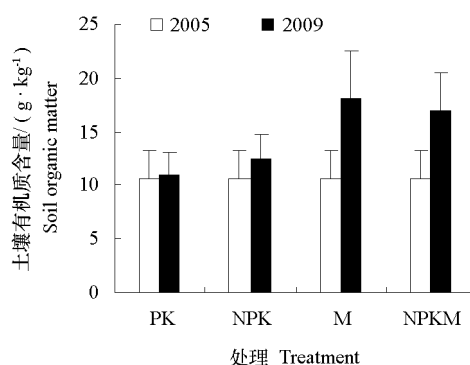


图 1 不同施肥处理 5 年前后的土壤有机质含量

Fig. 1 Change of soil organic matter after 5 years of fertilization

### 2.2 化肥有机肥配施对叶片营养的影响

不同施肥处理后，叶片中氮、磷、钾养分含量（表 1，表 2，表 3）均高于只施磷钾化肥（PK），随着生长周期的推移，差异显著性越强（ $P < 0.05$ ）。叶片对氮、磷、钾养分吸收、储存主要集中在生育前期。萌芽后期 5 月，叶片中氮磷钾含量均处于最高值，随着时间的推移，叶片中吸收储藏的营养物质逐渐转移到果实枝条等其他部位，供其生长发育需要，其含量逐渐降低。这与樊红柱等（2008）的研究结果基本一致。4 月中旬果树叶片刚刚长出幼叶，此时叶片很小，单叶面积增长很快，此后氮、磷、钾含量的逐渐降低有可能存在随叶片生长的稀释作用。为避免此情况的发生，采样尽可能在萌芽后期 5 月初，叶片面积基本保持不变时采样。从不同施肥处理来看，NPK 化肥处理（NPK）前期氮磷钾含量略高于化肥有机肥配施（NPKM）和只施有机肥猪粪（M）处理。果实膨大期至成熟期（7—9 月底），化肥有机肥配施处理（NPKM）基本上高于只施 NPK 化肥（NPK）处理。有机肥氮代替无机氮，而且通过改善土壤供应氮素过程，使土壤养分平稳释放，为作物生长持续供应养分（罗华 等，2012）。在果树生长后期，化肥有机肥配施及单施有机肥处理叶片中养分含量显著高于单施化肥处理。

表 1 2009 年采收当年不同时期苹果树叶片氮含量

Table 1 Nitrogen contents in leaves of Fuji apple during different periods in 2009 (mg · kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September
PK 化肥 (PK) Inorganic P and K	20.17 ± 3.08 b	17.77 ± 2.95 c	16.47 ± 2.12 b	14.30 ± 3.45 c	14.47 ± 4.32 c
NPK 化肥 (NPK) Inorganic N, P and K	25.89 ± 3.22 a	23.76 ± 2.87 a	20.72 ± 3.22 a	19.76 ± 3.32 b	20.72 ± 3.75 b
有机肥猪粪 (M) Manure	22.70 ± 3.52 b	20.74 ± 3.21b	23.22 ± 2.42 a	22.48 ± 2.12 a	24.22 ± 3.62 a
化肥有机肥配施 (NPKM) Inorganic N, P, K and manure	24.09 ± 3.07 a	23.76 ± 4.01a	22.93 ± 2.53 a	22.01 ± 3.56 a	24.93 ± 3.23 a

注：同列数据后不同字母者表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。  
Note: Different letters in same tier means significant at 0.05 level. The same below.

表 2 2009 年采收当年不同时期苹果树叶片磷含量

Table 2 Phosphorus contents in leaves of Fuji apple during different periods in 2009 (mg · kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September
PK 化肥 (PK) Inorganic P and K	1.57 ± 0.22 a	1.49 ± 0.43 b	1.57 ± 0.35 b	1.35 ± 0.23 b	1.22 ± 0.54 b
NPK 化肥 (NPK) Inorganic N, P and K	1.74 ± 0.31 a	1.49 ± 0.23 b	1.74 ± 0.21 a	1.34 ± 0.25 b	1.38 ± 0.23 b
有机肥猪粪 (M) Manure	1.63 ± 0.33 a	1.59 ± 0.35 ab	1.61 ± 0.22 ab	1.56 ± 0.34 a	1.58 ± 0.31 a
化肥有机肥配施 (NPKM) Inorganic N, P, K and manure	1.72 ± 0.12 a	1.68 ± 0.29 a	1.70 ± 0.24 a	1.63 ± 0.19 a	1.60 ± 0.17 a

表 3 2009 年采收当年不同时期苹果树叶片钾含量

Table 3 Potassium contents in leaves of Fuji apple during different periods in 2009 (mg · kg<sup>-1</sup>)

处理 Treatment	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September
PK 化肥 (PK) Inorganic P and K	10.55 ± 1.89 b	10.60 ± 3.01 b	8.63 ± 1.67 b	7.57 ± 2.79 b	5.83 ± 1.42 c
NPK 化肥 (NPK) Inorganic N, P and K	13.62 ± 2.34 a	11.98 ± 2.65 a	10.42 ± 1.82 b	9.27 ± 2.66 b	8.99 ± 3.08 b
有机肥猪粪 (M) Manure	13.56 ± 2.78 a	12.77 ± 2.41 a	13.07 ± 3.01 a	12.30 ± 3.09 a	10.84 ± 2.52 a
化肥有机肥配施 (NPKM) Inorganic N, P, K and manure	13.77 ± 2.72 a	13.54 ± 2.67 a	12.55 ± 2.98 a	11.90 ± 3.14 ab	10.34 ± 2.44 a

2.3 化肥有机肥配施对苹果产量的影响

不同年份不同处理苹果年均产量见表 4，化肥有机肥配施 (NPKM) 处理苹果产量呈逐年稳步上升趋势，5 年平均产量最高，达 36.88 t · hm<sup>-2</sup>，较对照增加 42.3%；NPK 化肥 (NPK) 处理平均产量也达到 35.44 t · hm<sup>-2</sup>，较对照也增加了 36.8%，但 5 年试验间总体呈现波浪形，可能受苹果大小年影响。这说明化肥有机肥配施能延长土壤供应氮素过程，使土壤养分平稳释放，为果实生长后期供应必要的养分，从而使其充分发挥土地的生产潜力，同时还可能减小甚至消除苹果大小年的影响。年平均产量顺序为化肥有机肥配施 (NPKM) > NPK 化肥 (NPK) ≥ 有机肥猪粪 (M) > PK 化肥 (PK)。

连续 5 年不同施肥处理苹果累计产量（表 4）均随年份表现出显著线性相关（ $P \leq 0.01$ ）。化肥有机肥配施（NPKM）稳定性显著高于其他处理（回归方程  $y = 38.21x - 76725$ ,  $R^2 = 0.998$ ）。

表 4 不同施肥处理对苹果产量的影响  
Table 4 Effects of different fertilization on apple fruit yields

处理 Treatment	产量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ ) Fruit yield					平均产量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	较对照增 产/%	累计产量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )
	2005	2006	2007	2008	2009	Average yield	Increased percentage	Accumulation yield
PK 化肥 (PK) Inorganic P and K	28.41 b	26.12 b	27.24 b	23.20 c	24.64 c	25.91 c	-	129.61 c
NPK 化肥 (NPK) Inorganic N, P and K	31.91 a	37.35 a	33.52 a	38.68 b	35.77 b	35.44 b	36.8	177.23 b
有机肥猪粪 (M) Manure	31.17 a	33.42 a	35.29 a	38.14 ab	36.41 ab	34.88 b	34.6	174.43 b
化肥有机肥配施 (NPKM) Inorganic N, P, K and manure	31.53 a	33.78 a	36.63 a	40.38 a	42.11 a	36.88 a	42.3	184.43 a

## 2.4 化肥有机肥配施对苹果品质的影响

### 2.4.1 对果实大小及单果质量的影响

结果（表 5）显示，化肥有机肥配施（NPKM）处理果径大于 80 mm 以上果实个数所占比例达 71.34%。NPK 化肥（NPK）及有机肥猪粪（M）施肥处理也提高了果实商品率，优果率分别达 68.54% 和 69.29%。对照只施磷钾肥（PK）处理果实商品率不高，仅为 31.14%，果径主要集中在 75 mm 以下。化肥有机肥配施（NPKM）处理单果质量最大，达 267.14 g，与对照只施磷钾肥（PK）处理相比，化肥有机肥配施（NPKM）、NPK 化肥（NPK）和有机肥猪粪（M）处理单果质量均达到显著水平。

表 5 不同施肥处理对果实大小的影响（2009 年）  
Table 5 Effects of different fertilization on fruit grading in 2009

处理 Treatment	苹果果实分级/% Fruit grading			单果质量/g Per fruit weight
	> 80 mm (优 High)	80 ~ 75 mm	< 75 mm	
PK 化肥 (PK) Inorganic P and K	31.14	26.11	42.75	172.24 c
NPK 化肥 (NPK) Inorganic N, P and K	68.54	24.32	7.14	242.87 b
有机肥猪粪 (M) Manure	69.29	22.84	7.87	237.47 b
化肥有机肥配施 (NPKM) Inorganic N, P, K and manure	71.34	23.52	5.14	267.14 a

注：各个处理定级用 100 个样品。

Note: Fruit grading use 100 apples as sample.

### 2.4.2 对果实内在品质的影响

由表 6 可知，化肥有机肥配施（NPKM）处理可溶性糖平均含量最高，可滴定酸含量最低，糖酸比为 39.29，糖酸比显著优于其他处理。可溶性固形物含量与可溶性糖含量有相似之处，均为化肥有机肥配施（NPKM）处理最高，与对照只施磷钾化肥（PK）相比，各处理均达到显著水平。化肥有机肥配施（NPKM）、NPK 化肥（NPK）、有机肥（M）处理维生素 C 含量都较对照只施磷钾化肥（PK）处理高，且各处理间差异达到显著水平，化肥有机肥配施（NPKM）处理的最高。硬度各处理均显著高于对照只施磷钾化肥（PK）处理。

表 6 不同施肥处理对苹果品质的影响 (5 年均值)

Table 6 Effect of different fertilization on fruit quality (Five-year average)

处理 Treatment	可溶性糖/ % Soluble sugar	可滴定酸/ % Titratable acids	维生素 C/ (mg · kg <sup>-1</sup> ) Vitamin C	可溶性固形物/ % Soluble solid	硬度/ (kg · cm <sup>-2</sup> ) Hardness	糖酸比 Sugar-acid ratio
PK 化肥 Inorganic P and K	11.51 c	0.411 a	109.1 c	13.76 c	6.35 b	28.01 c
NPK 化肥 Inorganic N, P and K	13.36 b	0.365 b	134.6 b	15.69 ab	7.01 ab	36.60 b
有机肥 M Manure	13.65 b	0.377 b	133.8 ab	15.73 ab	7.21 a	36.21 b
化肥有机肥配施 NPKM Inorganic N, P, K and manure	14.18 a	0.361 b	137.6 a	16.12 a	7.41 a	39.29 a

### 3 讨论

苹果树作为多年生植物, 要在一个位置固定生长, 加上苹果营养特性和选择性吸收的特点, 容易偏好吸收某几种养分, 长期下去很容易造成土壤养分不平衡, 施用有机肥可以缓解这个矛盾 (王小英 等, 2013)。张福锁等 (2009) 指出, 增施有机肥既是提高果园土壤缓冲性的重要措施之一, 也是保证苹果优质丰产的重要手段, 同时能够明显改善土壤肥力状况, 有利于苹果高产稳产。也有研究报道, 有机肥与氮、磷、钾肥配施是维持系统可持续性的最优施肥模式, 有利于作物的高产稳产, 增产的原因可能主要与有机肥养分的缓慢释放、土壤养分库的逐渐提高和植物抗干旱等逆境能力的提高有关; 有机肥中腐解产生的有机酸可能增加了土壤中有有机养分的矿化过程, 从而促进了难溶性养分的释放, 增加了土壤中全效和速效养分的含量, 即相当于施入了更多的矿质营养 (路克国 等 2003; 黄海翔 等, 2006; Kaur et al., 2007; 王顺建, 2008; Liang et al., 2012; 罗华 等, 2012; Liu et al., 2013)。本研究通过配施有机肥在苹果园连续 5 年田间试验, 年平均产量顺序为 NPKM > NPK ≥ M > NP, 化肥有机肥配施苹果产量较对照增加了 42.4%。另外, 单施化肥土壤有机质含量变化不大, 长此以往, 还可能出现土壤镁、硫、锌等中、微量元素的缺乏。而施入有机肥后土壤有机质含量较对照处理提高了 69.6%, 化肥有机肥配施, 有机质含量也提高了 58.5%。有机质含量的提高可以增加了土壤中微生物数量、活力及微生物的多样性, 最终提高土壤微生物碳、氮并提升土壤的营养供应容量 (Tarkalson et al., 1998; 李娟 等, 2008; 徐明岗 等, 2008; 薛峰 等, 2010)。

苹果的内在品质可能直接影响着人们的消费取向, 很多人在提高苹果内在品质上做了大量研究。王勤等 (2002) 报道指出, 对苹果树增施氯化钾肥, 无论基施或追施, 对提高当年叶片的鲜质量、干质量、叶绿素含量、叶片中氮和钾的含量, 苹果品质均表现出不同程度的良好作用。金会翠等 (2007) 也曾报道增施硫酸钾后, 果实的单果质量、硬度、着色、花青苷以及可溶性固形物的含量等品质指标有所提高。赵佐平等 (2009) 报道适量适时平衡施入氮磷钾肥可以促进苹果品质的提高。孙霞等 (2011) 以滴灌为条件研究不同水氮处理, 分析水氮耦合对苹果品质的影响。结果表明: 高水高氮能显著增加果品质量, 但对改善果形无益。氮素过高或过低都不利于提高果实硬度, 果实可滴定酸随氮素施用量和水分供应量的增加而增加, 适量施用氮肥可促进糖分的积累。本研究通过化肥有机肥配施发现, 化肥有机肥配施 (NPKM) 处理果径大于 80 mm 以上果实个数所占比例达 71.34%, 果径大于 75 mm 以上果实个数所占比例达更是高达 94.86%, 极大地提高了果实优良商品率。化肥有机肥配施 (NPKM) 处理糖酸比、可溶性固形物、维生素 C 含量、果实硬度均为最高。原因是有机肥的合理施入一方面增加土壤有机质含量和多种生物活性物质, 改善土壤物理、化学和生物学性状, 提高土壤肥力; 另一方面为作物提供渐进、持续、全面的养分供应, 不仅增加作物产

量, 而且改善产品品质。同时提高了化学肥料的利用率。本研究与王顺建(2008)研究结论一致。有机肥肥效稳定, 养分持续释放, 可以和作物的生理需求同步, 因而确保了作物营养代谢协调均衡, 促进了果品的优质高产。因此, 化肥有机肥配施是改善土壤肥力的、果园科学管理简单易行的环保型施肥技术。

## References

- Bao Shi-dan. 2000. Soil and agrochemistry analysis science. 3th ed. Beijing: China Agriculture Press: 302 - 316. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社: 302 - 316.
- Fan Hong-zhu, Tong Yan-an, Lü Shi-hua, Liu Ru-liang. 2008. Annual change of nitrogen content and accumulation in apple tree. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, (4): 15 - 17. (in Chinese)
- 樊红柱, 同延安, 吕世华, 刘汝亮. 2008. 苹果树体氮含量与氮累积量的年周期变化. *中国土壤与肥料*, (4): 15 - 17.
- Gao Yi-min, Tong Yan-an, Lu Yong-li, Ma Hai-yang. 2012. Effects of long-term application of nitrogen, phosphorus and potassium on apple yield and soil nutrients accumulation and distribution in orchard soil of Loess Plateau. *Journal of Fruit Science*, 29 (3): 322 - 327. (in Chinese)
- 高义民, 同延安, 路永莉, 马海洋. 2012. 长期施用氮磷钾肥对黄土高原地区苹果产量及土壤养分累积与分布的影响. *果树学报*, 29 (3): 322 - 327.
- Gao Yi-min, Tong Yan-an, Lu Yong-li, Wang Xiao-ying. 2013. Effects of soil available nutrients and long-term fertilization on yield of Fuji apple orchard of Weibei area in Shaanxi, China. *Acta Horticulturae Sinica*, 40 (4): 613 - 622. (in Chinese)
- 高义民, 同延安, 路永莉, 王小英. 2013. 陕西渭北红富士苹果园土壤有效养分及长期施肥对产量的影响. *园艺学报*, 40 (4): 613 - 622.
- Huang Hai-xiang, Li Shu-tian, Li Xiang-lin, Yao Jie. 2006. Analysis on the status of organic fertilizer and its development strategies in China. *Soils and Fertilizers*, 5 (1): 3 - 4. (in Chinese)
- 黄海翔, 李书田, 李向林, 姚杰. 2006. 我国有机肥的现状与发展前景分析. *土壤肥料*, 5 (1): 3 - 4.
- Jin Hui-cui, Zhang Lin-sen, Li Bing-zhi, Han Ming-yu, Liu Xiao-gang. 2007. Effect of potassium on the leaf nutrition and quality of red Fuji apple. *Journal of Northwest Agriculture*, 16 (3): 100 - 104. (in Chinese)
- 金会翠, 张林森, 李丙智, 韩明玉, 刘小刚. 2007. 增施钾肥对红富士苹果叶片营养及果实品质的影响. *西北农业学报*, 16 (3): 100 - 104.
- Kaur T, Brar B S, Dhillon N S. 2007. Soil organic matter dynamics as affected by long-term use of organic and inorganic fertilizers under maize-wheat cropping system. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems*, 10: 110 - 121.
- Li Juan, Zhao Bing-qiang, Li Xiu-ying, Hwat Bing So. 2008. Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica*, 41 (1): 144 - 152. (in Chinese)
- 李娟, 赵秉强, 李秀英, Hwat Bing So. 2008. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响. *中国农业科学*, 41 (1): 144 - 152.
- Liang Bin, Yang Xue-yun, He Xin-hua, Daniel V. Murphy, Zhou Jian-bin. 2012. Long-term combined application of manure and NPK fertilizers influenced nitrogen retention and stabilization of organic C in Loess soil. *Plant Soil*, 353: 249 - 260.
- Liu Chang-an, Li Feng-rui, Zhou Li-min, Zhang Rong-he, Yu Jia, Lin Shi-ling, Wang Li-jun, Kadambot H M Siddique, Li Feng-min. 2013. Effect of organic manure and fertilizer on soil water and crop yields in newly-built terraces with loess soils in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 117: 123 - 132.
- Liu Hou-jun, Ju Xiao-tang, Tong Yan-an, Zhang Fu-suo, Lü Jia-long. 2002. The status and problems of fertilization of main fruit trees in Shaanxi Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 20 (1): 38 - 44. (in Chinese)
- 刘侯俊, 巨晓棠, 同延安, 张福锁, 吕家珑. 2002. 陕西省主要果树的施肥现状及存在问题. *干旱地区农业研究*, 20 (1): 38 - 44.
- Liu Ru-liang, Tong Yan-an, Fan Hong-zhu, Zhao Ying. 2007. Effect of spraying zinc fertilizer on apple growth and fruit quality in Weibei dry-land. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 25 (3): 62 - 65. (in Chinese)
- 刘汝亮, 同延安, 樊红柱, 赵营. 2007. 喷施锌肥对渭北旱塬苹果生长及产量品质的影响. *干旱地区农业研究*, 25 (3): 62 - 65.
- Lu Ke-guo, Zhu Shu-hua, Zhang Lian-zhong. 2003. The effect of bio-fertilizer on soil property and fruit quality of Red Fuji apple. *Journal of Shihezi University: Natural Science*, 7 (3): 205 - 208. (in Chinese)
- 路克国, 朱树华, 张连忠. 2003. 有机肥对土壤理化性质和红富士苹果果实品质的影响. *石河子大学学报: 自然科学版*, 7 (3): 205 - 208.

- Luo Hua, Li Min, Hu Da-gang, Song Hong-ri, Hao Yu-jin, Zhang Lian-zhong. 2012. Effects of organic fertilization on fruit yield and quality of Feicheng peach. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 18 (4): 955 - 964. (in Chinese)
- 罗 华, 李 敏, 胡大刚, 宋红日, 郝玉金, 张连忠. 2012. 不同有机肥对肥城桃果实产量及品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 18 (4): 955 - 964.
- 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.
- Sun Xia, Chai Zhong-ping, Jiang Ping-an. 2011. Effects of water and nitrogen coupling on quality of Red Fuji apple under drop irrigation condition in the south of Xinjiang. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, (5): 1042 - 1046. (in Chinese)
- 孙 霞, 柴仲平, 蒋平安. 2011. 滴灌条件下水氮耦合对南疆红富士苹果品质的影响. *核农学报*, (5): 1042 - 1046.
- Tarkalson D D, Jolley V D, Robbins C W, Richard E T. 1998. Mycorrhizal colonization and nutrition of wheat and sweet corn grown in manure-treated and untreated topsoil and subsoil. *J Plant Nutrient*, 21: 1985 - 1999.
- Wang Qin, He Wei-hua, Guo Jing-nan, Huang Xian-gan, Jiao Suo-min, He Yan-hua. 2002. Effect of application of potassium fertilizer on production and fruit quality of apple trees. *Journal of Fruit Science*, 19 (6): 424 - 426. (in Chinese)
- 王 勤, 何为华, 郭景南, 黄显淦, 焦锁民, 何艳华. 2002. 增施钾肥对苹果品质和产量的影响. *果树学报*, 19 (6): 424 - 426.
- Wang Sheng-rui, Ma Wen-qi, Xu Wen-hua, Li Qing-hui, Zhang Fu-suo. 2004. Evaluation on situation of fertilization for apple in Shaanxi Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 22 (1): 146 - 151. (in Chinese)
- 王圣瑞, 马文奇, 徐文华, 黎青慧, 张福锁. 2004. 陕西省苹果施肥状况与评价. *干旱地区农业研究*, 22 (1): 146 - 151.
- Wang Shun-jian. 2008. Effect of organic manure on the yield and quality of Love Kennedy pear. *Shanxi Fruits*, (2): 6 - 7. (in Chinese)
- 王顺建. 2008. 增施有机肥对爱甘水梨果实产量和品质的影响. *山西果树*, (2): 6 - 7.
- Wang Xiao-ying, Tong Yan-an, Liu Fen, Zhao Zuo-ping. 2013. Evaluation of the situation of fertilization in apple fields in Shaanxi Province. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 19 (1): 206 - 213. (in Chinese)
- 王小英, 同延安, 刘 芬, 赵佐平. 2013. 陕西省苹果施肥状况评价. *植物营养与肥料学报*, 19 (1): 206 - 213.
- Xu Ming-gang, Li Dong-chu, Li Ju-mei, Qin Dao-zhu, Kazuyuki Yagi, Yasukazu Hosenl. 2008. Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and yield of rice in Hunan of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 41 (10): 3133 - 3139. (in Chinese)
- 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 秦道珠, 八木一行, 宝川靖和. 2008. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响. *中国农业科学*, 41 (10): 3133 - 3139.
- Xue Feng, Yan Ting-mei, Yang Llin-zhang, Qiao Jun. 2010. Influences of organic fertilizer application on soil biological properties. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 18 (6): 1372 - 1377. (in Chinese)
- 薛 峰, 颜廷梅, 杨林章, 乔 俊. 2010. 施用有机肥对土壤生物性状影响的研究进展. *中国生态农业学报*, 18 (6): 1372 - 1377.
- Zhang Fu-suo, Chen Xin-ping, Chen Qing. 2009. Fertilization guide on major crops of China. Beijing: China Agricultural University Press: 84 - 87. (in Chinese)
- 张福锁, 陈新平, 陈 清. 2009. 中国主要作物施肥指南. 北京: 中国农业大学出版社: 84 - 87.
- Zhao Zuo-ping, Tong Yan-an, Gao Yi-min, Fu Ying-ying. 2009. Effect of different fertilization on yield and quality of Fuji apple. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 15 (5): 1130 - 1135. (in Chinese)
- 赵佐平, 同延安, 高义民, 付莹莹. 2009. 不同配比施肥对渭北旱源富士苹果产量及品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 15 (5): 1130 - 1135.
- Zhao Zuo-ping, Tong Yan-an, Liu Fen, Wang Xiao-ying. 2012. Assessment of the current situation of household fertilization on apple in Weibei Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 20 (8): 1003 - 1009. (in Chinese)
- 赵佐平, 同延安, 刘 芬, 王小英. 2012. 渭北旱源苹果园施肥现状分析评估. *中国农业生态学报*, 20 (8): 1003 - 1009.