

# 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究

彭福田, 姜远茂

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 泰安 271018)

**摘要:** 【目的】获得不同产量水平苹果园土壤与植株叶片、果实氮磷钾营养特点。【方法】将10年生红富士/平邑甜茶苹果园按产量水平分为4类, 1997~2000年连续4年定期采集土壤与植株样品进行测定分析, 并从2001年开始对4类果园进行不同施肥量试验。【结果】随产量水平提高, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾均呈增高趋势, 反映了增加土壤养分供应能力对提高产量水平具有重要作用, 但在同一产量水平上, 这3项指标测定值变化幅度大, 且与产量的相关系数较低。高产园植株叶片一般表现出较高的全氮、全磷含量, 较低的全钾含量, 果实则表现为较高的全氮含量, 较低的全磷含量, 全钾含量变化不大, 其中高产园叶片全钾含量下降最显著, 在土壤有效钾含量较高的条件下, 高产园叶片全钾含量并不高, 并且叶钾与土壤速效钾的相关性较差, 此时叶钾主要受产量的影响, 随产量的上升而下降。不同产量水平果园施肥反应存在差异, 各类果园增施磷肥均未表现出增产效果, 增施钾肥均有增产效果, 仅中低产园对增施氮肥表现出增产效果。【结论】根据目标产量确定施肥量时, 要根据土壤有效养分含量对施肥量进行调整; 根据叶分析结果判断植株钾素营养状况时应考虑产量对钾素吸收分配的影响。

**关键词:** 苹果; 产量; 氮; 磷; 钾

## Characteristics of N, P, and K Nutrition in Different Yield Level Apple Orchards

PENG Fu-tian, JIANG Yuan-mao

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018)

**Abstract:** 【Objective】In order to get the information about the characteristics of N, P, K nutrition in different yield level apple orchards. 【Method】The orchards with ten-year-old apple trees (*M. domestica* Borkh. cv. Red Fuji/*M. hupehensis* Rhed) were divided into four types, soil and plant samples were collected and determined at certain time from 1997 to 2000, fertilizer treatments were also conducted in different type orchards. 【Result】The results showed that soil alkaline hydrolyzable N, available P and K concentration had an increasing tendency as yield level increased, indicating the important effect of soil fertility on yield. But the three index value changed much and had low correlation index with yield at the same yield level. At high yield level orchards leaf total N and P, fruit total N were relatively high but leaf total K and fruit total P were relatively low, leaf total K was mostly influenced by yield, and decreased with yield increased. The effect of fertilizer on yield was changed with the change of yield level. Application of P did not increase yield at all four yield level orchards, but as K was concerned, and it was contrary. Application of N increased yield at middle and low yield level orchard. 【Conclusion】Fertilizer application amounts to apple trees should base on not only the yield but also the soil available nutrients. The estimation of K level in apple trees should base on not only the leaf K concentration but also the effect of yield on K absorption and distribution.

**Key words:** Apple; Yield; Nitrogen; Phosphate; Potassium

## 0 引言

【本研究的重要意义】当前中国苹果生产中过

量施用化肥现象严重, 以氮肥为例, 国外苹果园每公顷纯氮施用量仅150 kg左右, 而中国苹果主产区每公顷纯氮施用量高达400~600 kg, 氮肥的过量施用可引

收稿日期: 2005-08-17; 接受日期: 2005-12-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30571286)

作者简介: 彭福田(1969-), 男, 山东莒南人, 副教授, 博士, 研究方向为果树生理。Tel: 0538-8245986; E-mail: pft@sda.edu.cn

起果实品质下降, 并造成环境污染, 进行苹果园土壤与植株营养特点的研究, 可以为苹果合理施肥提供理论参考。【前人研究进展】国外果树营养诊断领域的研究从 20 世纪 30 年代已开始起步, 但理论与技术体系的完善主要在近 20 年<sup>[1~4]</sup>, 已有的研究表明, 叶片营养元素含量常因树种、品种、树龄、砧木和地区及立地条件等而异, 但产量对叶片与果实内矿质元素含量的影响研究较少, 而生产实践表明, 果树产量变异幅度远大于一般大田作物, 就苹果而言, 产量低的果园甚至为零, 而高产园可以多年保持 7 500 kg/666.7m<sup>2</sup>, 果树营养与施肥状况对产量有重要影响, 反之, 果树产量也会影响其对养分的吸收、分配以及对肥料的反应。果实作为代谢库其生长发育主要靠叶片制造的光合产物维持, 并且果实在与其它“库”竞争光合产物时, 处于优势地位, 一般认为在竞争光合产物的能力方面种子>果肉>新梢生长点与幼叶>形成层>根系<sup>[5]</sup>, 因此高产苹果园, 植株根系的生长与吸收功能会受到限制, 这可能影响到植株中某些养分的浓度。此外, 氮、磷、钾 3 种营养元素, 苹果叶片氮浓度高于磷、钾, 而苹果果实中钾的浓度最高<sup>[6]</sup>, 因此产量可能对氮、磷、钾在叶片与果实中的分配产生不同的影响。由于氮、磷、钾等元素在土壤空间分布上的差异, 果树根系分布的不同以及对土壤矿化过程研究不透彻, 要想准确得到某一特定土壤的供肥能力非常困难。【本研究切入点】果树当年的生长结果状况并不完全取决于土壤营养元素的有效性, 有时树体贮藏营养水平比土壤供肥能力对新生器官的生长更为重要, 因此, Jones 指出对多年生的园艺作物来讲进行植株分析诊断比土壤分析诊断更有效<sup>[1,4]</sup>, 但对盛果期高产苹果园而言, 由于连年大量施用化肥, 土壤有效养分含量是否比叶片养分含量更能反映养分过量程度有待进一步探讨。【拟解决的关键问题】本研究从产量水平入手, 研究不同产量水平苹果园土壤与植株氮、磷、钾营养特点, 以及对施肥反应的差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 大田调查与取样测定

试验于 1997~2000 年在山东省栖霞市和莱西市进行, 以栽培密度相同, 整形修剪与病虫害防治都正常的 46 处棕壤果园的 10 年生红富士/平邑甜茶为试材, 根据 4 年产量水平把调查的果园分为 A、B、C、D 4 类, 依次代表每 666.7 m<sup>2</sup> 平均产量大于 4 000 kg、3 000~4 000 kg、2 000~3 000 kg、小于 2 000 kg 的果

园, A、B、C、D 4 类果园的数量依次为 13、10、11、12 片。于每年 7 月份采叶片测定全氮、全磷、全钾含量, 9 月份调查或测定以下指标: 果园土壤碱解氮、有效磷与速效钾含量, 10 月下旬采果实样品测定全氮、全磷与全钾, 调查测定按全月澳等<sup>[7]</sup>的方法。对 4 年的数据利用 Excel 2003 进行统计分析。

### 1.2 施肥试验

从 A、B、C、D 4 类果园中各选取 2 片果园, 其土壤有效养分基本处于该类果园的平均水平, 从 2001 年开始连续 3 年进行施肥试验, 土壤施用氮、磷、钾肥处理都设 4 个水平(表 1), 化肥种类分别为尿素、过磷酸钙和硫酸钾。(1) 氮肥处理: 施肥时间为 9

表 1 不同处理施肥量

Table 1 Amounts of N, P, and K fertilizer applied in different treatments (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O kg/666.7m<sup>2</sup>)

肥料 Fertilizer	对照 Control	低肥 Fertilizer at low level	中肥 Fertilizer at middle level	高肥 Fertilizer at high level
N	0	7.5	15	22.5
P	0	3.25	7.5	11.25
K	0	7.5	15	22.5

月份、次年 3 月份和 6 月份, 3 次施肥分别占全年施用量的 40%、40% 和 20%, 各处理施过磷酸钙、硫酸钾作底肥, 折合每 666.7 m<sup>2</sup> 施五氧化二磷 7.5 kg, 氧化钾 15 kg。(2) 磷肥处理: 于 9 月份一次施足, 各处理施尿素、硫酸钾作底肥, 折合每 666.7 m<sup>2</sup> 施纯氮 15 kg, 氧化钾 15 kg。(3) 钾肥处理: 施肥时间为 9 月份、次年 3 月份和 6 月份, 3 次施肥分别占全年施用量的 20%、20% 和 40%, 各处理施尿素、过磷酸钙作底肥, 折合每 666.7m<sup>2</sup> 施纯氮 15 kg, 五氧化二磷 7.5 kg。试验每 3 株为一小区, 各处理 4 次重复, 完全随机设计, 设立保护株与保护行。此外, 另选部分植株进行土壤施用磷、钾肥加根外追施磷酸二氢钾试验, 土壤施肥与上述磷肥、钾肥处理相同, 但每年 7 月隔半月喷 1 次 0.3% 磷酸二氢钾, 共喷 4 次。果实采收时调查所有处理产量与品质指标。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮

从表 2 可以看出, 土壤碱解氮含量 A>B>C>D, 因此产量水平与土壤的氮素供应水平基本是一致的。但在同一产量水平下, 碱解氮的变异幅度很大, 例如, A 类果园最高值约为最低值的 1.6 倍, B 类果园最高

值约为最低值的 1.4 倍。对土壤碱解氮与产量进行回归分析,用一元二次多项式拟合得到较高的相关系数,当 4 类果园都包括在内,碱解氮的平均值与产量平均值之间的关系式与相关系数为  $y = -2E-07x^2 + 0.0215x + 3.4324$ ,  $R^2 = 0.8798$ ,但就同类果园进行回归分析相关系数则大幅度降低,以 A 类果园为例,其一元二次多项式拟合关系式与相关系数为  $y = 2E-05x^2 - 0.1781x + 484.78$ ,  $R^2 = 0.031$ 。每年碱解氮与产量的相关系数与上述变化趋势基本一致(表 3)。上述结果表明,土壤碱解氮与产量呈阈值关系,就 A 类果园而言维持碱解氮为  $90 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  左右,可保证高产。3 年的施肥试验结果表明, A、B 两类果园化学纯氮施用量为  $7.5 \text{ kg}/666.7\text{m}^2$  时、平均单果重、产量与其它两个高氮处理无显著差异,但对 C、D 两类果园而言,化学纯氮施用量为  $15 \text{ kg}/666.7\text{m}^2$  处理,产量、平均单果重显著

高于  $7.5 \text{ kg}/666.7\text{m}^2$  处理(表 5),表明不同产量水平苹果园由于土壤自身供氮水平不同,对施氮的反应不同。

一般认为叶氮更能反映植株的营养状况<sup>[1,7]</sup>,表 4 也表明随产量水平的提高,叶片全氮含量呈增高趋势,但不同产量水平的果园叶氮含量范围存在较多交叉。对 4 类果园 4 年的平均数据回归分析表明,叶氮与产量的一元二次多项式拟合关系式为  $y = -7E-08x^2 + 0.0005x + 1.7127$ ,相关系数较低,  $R^2 = 0.2825$ 。每年的叶氮含量与产量的相关系数亦很低。这是由于影响叶氮的因素很多,如土壤氮的有效性、植株营养生长状况、果实数量等。如在土壤氮素水平较低时,可能由于新梢生长量小,结果少,产生“浓缩”效应,而叶氮含量仍较高。因此,采用叶分析诊断时,应该综合考虑树体的生长结果状况。随产量水平的提高,果

表 2 不同产量水平下各土层碱解氮、有效磷、有效钾含量<sup>1)</sup>

Table 2 Soil alkaline hydrolysable, available P and K at different soil layers in different yield levels ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{soil}$ )

产量水平 Yield levels ( $\text{kg}/666.7\text{m}^2$ )	碱解氮含量 Alkaline hydralgsalk N		有效磷含量 Available P		有效钾含量 Available K	
	范围 Range	平均±标准差 Average±SD	范围 Range	平均±标准差 Average±SD	范围 Range	平均±标准差 Average±SD
>4 000 kg (A)	73.1~120.3	94.4±11.1	20.4~60.3	35.6±9.5	89.2~199.0	122.5±29.9
3 000~4 000 kg (B)	65.5~92.0	79.3±4.8	20.0~46.2	33.8±6.1	85.0~140.2	106.8±16.2
2 000~3 000 kg (C)	39.2~70.3	51.2±7.8	21.0~48.0	31.1±5.3	50.3~71.6	63.3±9.3
<2 000 kg (D)	27.0~67.9	36.8±5.4	20.0~38.4	26.9±4.5	40.2~68.7	51.3±10.3

表中数据为 1997 年~2000 年 4 年的数据 Data from the year of 1997 to 2000.

表 3 不同产量水平苹果园碱解氮与产量的拟合方程与相关系数

Table 3 Equations and correlation coefficients between soil alkaline hydrolyzable N and yield at different yield level orchards

类型 Type	拟合方程与相关系数 Equation and correlation coefficient				
	1997	1998	1999	2000	平均 Average
A	$y = 4E-05x^2 - 0.2977x + 724.03$ $R^2 = 0.1254$	$y = 6E-05x^2 - 0.508x + 1179$ $R^2 = 0.1711$	$y = -2E-05x^2 + 0.2124x - 385.5$ $R^2 = 0.1142$	$y = 4E-06x^2 - 0.0372x + 168.98$ $R^2 = 0.0466$	$y = 2E-05x^2 - 0.1781x + 484.78$ $R^2 = 0.031$
B	$y = 2E-05x^2 - 0.158x + 343.32$ $R^2 = 0.0254$	$y = -6E-05x^2 + 0.4149x - 625.09$ $R^2 = 0.1977$	$y = -2E-05x^2 + 0.1361x - 153.2$ $R^2 = 0.0765$	$y = -4E-05x^2 + 0.2875x - 408.54$ $R^2 = 0.5319$	$y = -2E-05x^2 + 0.1592x - 195.38$ $R^2 = 0.1021$
C	$y = -2E-05x^2 + 0.1086x - 90.205$ $R^2 = 0.1449$	$y = -5E-05x^2 + 0.2661x - 283.59$ $R^2 = 0.215$	$y = -2E-05x^2 + 0.0913x - 65.354$ $R^2 = 0.115$	$y = 1E-05x^2 - 0.0472x + 97.824$ $R^2 = 0.0844$	$y = -6E-05x^2 + 0.2869x - 314.61$ $R^2 = 0.3589$
D	$y = 3E-05x^2 - 0.0651x + 61.85$ $R^2 = 0.4865$	$y = -7E-06x^2 + 0.0204x + 17.663$ $R^2 = 0.0199$	$y = -3E-05x^2 + 0.0872x - 22.586$ $R^2 = 0.1486$	$y = 1E-05x^2 - 0.0396x + 67.926$ $R^2 = 0.0905$	$y = 9E-06x^2 - 0.0194x + 44.799$ $R^2 = 0.1968$
AB	$y = 7E-06x^2 - 0.0383x + 129.67$ $R^2 = 0.3757$	$y = 6E-06x^2 - 0.0338x + 126.4$ $R^2 = 0.3808$	$y = -8E-06x^2 + 0.0718x - 69.744$ $R^2 = 0.3277$	$y = -2E-07x^2 + 0.0116x + 43.263$ $R^2 = 0.2949$	$y = -1E-06x^2 + 0.0216x + 18.193$ $R^2 = 0.4101$
CD	$y = -1E-05x^2 + 0.0674x - 34.511$ $R^2 = 0.4144$	$y = 3E-06x^2 + 0.005x + 21.433$ $R^2 = 0.5479$	$y = 7E-08x^2 + 0.0121x + 18.91$ $R^2 = 0.4249$	$y = 5E-06x^2 - 0.0073x + 39.623$ $R^2 = 0.448$	$y = -2E-06x^2 + 0.0211x + 8.9787$ $R^2 = 0.609$
ABCD	$y = 8E-07x^2 + 0.0164x + 9.2888$ $R^2 = 0.807$	$y = 3E-07x^2 + 0.0191x + 5.6102$ $R^2 = 0.8603$	$y = -2E-06x^2 + 0.0344x - 11.73$ $R^2 = 0.8171$	$y = -7E-07x^2 + 0.0227x + 5.1823$ $R^2 = 0.8145$	$y = -2E-07x^2 + 0.0215x + 3.4324$ $R^2 = 0.8798$

实全氮含量逐渐提高(表 4)。资料表明,果实氮含量高,各种生理病害发病率升高,对真菌病害的抗性减弱<sup>[8]</sup>。

2.2 磷

表 2 和表 4 表明,随产量水平提高,土壤有效磷浓度与叶片全磷呈上升趋势,但对 4 年有效磷浓度与产量的平均值进行相关分析。结果表明,土壤有效磷与产量拟合关系式为  $y = 2.558x^2 - 107.51x + 3680.2$ ,

相关系数  $R^2 = 0.2054$ ,叶片全磷与产量拟合关系式为  $y = -3741.3x^2 + 21052x + 26134$ ,相关系数  $R^2 = 0.266$ (图 1),每年的数据单独分析相关系数亦很低。表明在调查区内土壤有效磷浓度、叶片全磷与产量相关性差,这与 4 类果园土壤有效磷都高于  $20 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,叶片全磷在 0.15% 以上,分别处于较高与适宜水平有关。各类果园增施磷肥均未表现出增产效果,随产量水平提高果实全磷含量呈下降趋势(表 4)。

表 4 不同产量水平叶片与果实 N、P、K 含量

Table 4 Leaf and fruit N, P, K concentration of in different yield level orchard (%DW)

类型 Type	部位 Parts	氮含量 N concentration		磷含量 P concentration		钾含量 K concentration	
		范围 Range	平均±标准差 Average±SD	范围 Range	平均±标准差 Average±SD	范围 Range	平均±标准差 Average±SD
A	叶片 Leaves	2.4~3.0	2.6±0.20	0.16~0.28	0.20±0.03	0.55~0.83	0.73±0.09
	果实 Fruits	0.29~0.32	0.343±0.09	0.042~0.049	0.046±0.005	0.62~0.71	0.66±0.032
B	叶片 Leaves	2.4~3.1	2.7±0.24	0.16~0.23	0.20±0.03	0.82~0.87	0.85±0.02
	果实 Fruits	0.28~0.30	0.295±0.07	0.057~0.069	0.053±0.003	0.63~0.72	0.67±0.031
C	叶片 Leaves	2.2~2.9	2.6±0.22	0.15~0.22	0.18±0.03	0.75~1.26	1.11±0.18
	果实 Fruits	0.25~0.28	0.243±0.06	0.051~0.062	0.057±0.004	0.69~0.73	0.67±0.027
D	叶片 Leaves	2.1~2.7	2.3±0.20	0.15~0.17	0.16±0.01	0.78~1.19	0.93±0.16
	果实 Fruits	0.22~0.25	0.210±0.08	0.054~0.067	0.060±0.004	0.65~0.75	0.68±0.024

表中数据为 1997~2000 年 4 年的数据 Data from the year of 1997 to 2000

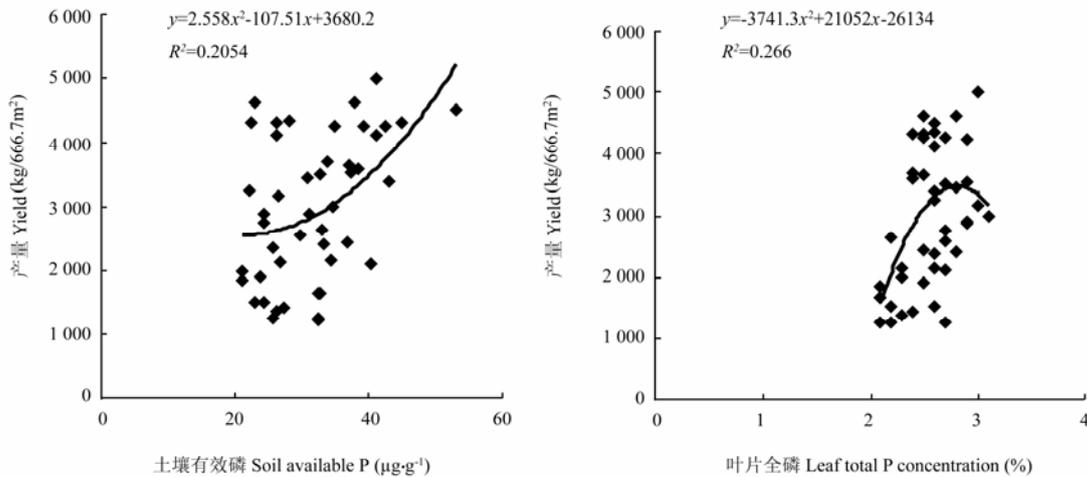


图 1 土壤有效磷、叶片全磷含量与产量的关系

Fig. 1 Relationship between soil available P, leaf total P concentration and yield

2.3 钾

随产量水平提高,果园土壤速效钾逐渐升高(表 2),图 2 为各类果园 4 年土壤有效钾浓度与产量平均值的相关图形,二者相关系数较高,每年的数据单独分析也得到较高的相关系数(数据未列出)。但 A、B 两类果园叶片钾含量显著低于 C、D 两类果园叶片钾含量;果实钾含量各类型果园差异不大,由于 A、

B 两类果园果实含氮量较高,N/K 比显著提高(表 4)。为探明高产园叶钾含量降低的原因,进一步分析表明,A、B 两类果园土壤速效钾含量较高,叶钾与土壤速效钾无显著相关性,而叶片钾素含量主要受产量影响,与产量呈负相关(图 3)。而对 C、D 两类果园叶钾与土壤速效钾呈显著正相关,并且随产量增加,叶片钾含量也呈增加的趋势(图 4)。这些结果表明,产

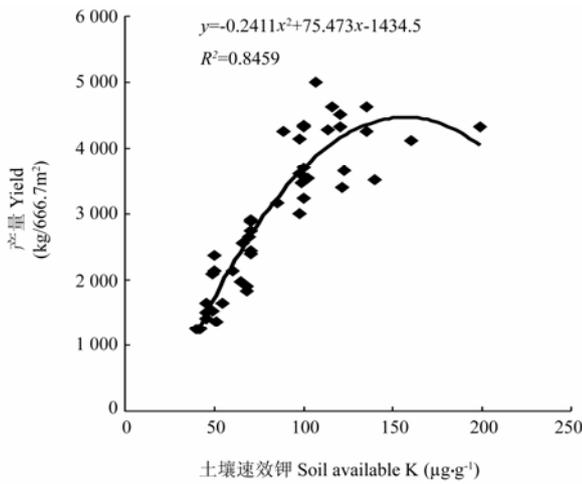


图 2 土壤速效钾与产量的关系

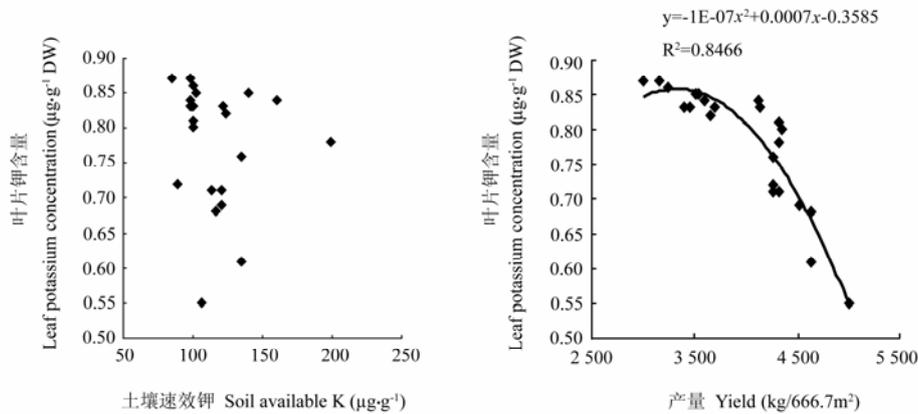
Fig. 2 Relationship between soil available K and yield

量 3 000 kg/666.7 m<sup>2</sup> 以下，果实的存在并不影响根系对钾素的吸收。

连续 3 年的施钾肥试验结果表明，对 A、B 两类果园而言，K2 处理加根外追施 4 次磷酸二氢钾连续 3 年获得最高产量，叶片与果实的全钾含量也高于其它处理，但叶片含量仍不到 0.9%，表明高产情况下钾素吸收供应受到限制；对 C、D 两类果园而言 K1 处理约提高产量 10%，K2、K3 处理产量无显著差异，约增产 16%，土壤施钾加根外追施 4 次磷酸二氢钾处理与单独土壤施钾，产量无显著差异，表明不同产量水平果园对施钾处理反应不同。

### 3 讨论

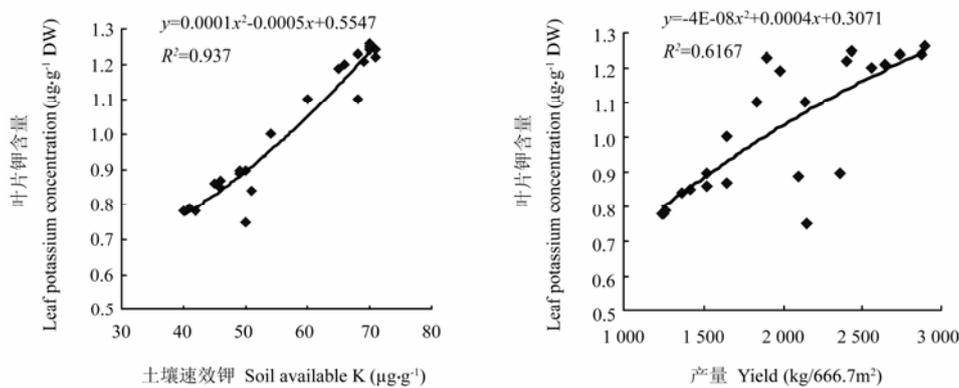
随产量水平提高，土壤碱解氮、有效磷、速效钾



图中数据为各指标 4 年数据的平均值 Data were average values of index in four years

图 3 A、B 两类果园土壤速效钾与叶钾、产量与叶钾的关系

Fig. 3 Relationship between soil available potassium, and leaf potassium concentration and yield in A and B types of orchards



图中数据为各指标 4 年数据的平均值 Data were average values of index in four years

图 4 C、D 两类果园土壤速效钾与叶钾、产量与叶钾的关系

Fig. 4 Relationship between soil available potassium and leaf potassium concentration, leaf potassium concentration and yield in C, D types of orchards

均呈增高趋势(表 2),反映了增加土壤养分供应能力对提高产量水平具有重要作用,但在同一产量水平上,这 3 项指标变化范围较广,且与产量的相关系数较低,因此就某一产量水平而言,土壤有效养分只要达到一定阈值就可能维持相应的产量,表 2 中不同产量水平下 3 项指标的平均值可以作为富士苹果土壤营养诊断的参考值。随产量水平提高,叶片与果实全氮、全磷与全钾含量呈现不同的变化特点,高产园植株叶片一般表现出较高的全氮、全磷含量,较低的全钾含量,果实则表现为较高的全氮含量,较低的全磷含量,全钾含量变化不大。其中高产园叶片全钾含量下降最显著,在土壤有效钾含量较高的条件下,高产园叶片全钾含量并不高(0.9%以下),并且叶钾与土壤速效钾的相关性较差(图 3),此时叶钾主要受产量的影响,随产量的上升而下降。造成这一结果的原因一方面是由于果实发育需要大量钾,叶片钾被转运至果实,另一方面高产园苹果植株果实生长消耗大量碳水化合物,导致根系碳水化合物浓度降低,吸收活性下降。在番茄上以用于机械收获,成熟迅速而整齐的品种 VF-13L 与常规品种 VFN-8 为试材研究表明,这两种

栽培品种的果实都是叶片钾的强库,故在果实生长期能使叶柄中钾的含量骤然降低,而在 VF-13L 中降低得更快更厉害,叶片甚至出现缺钾症状,向根系大量供钾也不能避免这种缺钾素现象。进一步分析认为,这大概是由于源叶优先向果实供应碳水化合物,而影响了根的生长与活性<sup>[9]</sup>。本研究的结果与蕃茄上的试验均说明了果实作为优势库时,钾可能成为果实产量与品质提高的限制因子,并且根系对其吸收能力下降,此时土壤施钾配合根外追钾对保证植株钾素供应更有效,本研究中的施肥试验也证明了这一点。

不同产量水平果园施肥反应存在差异,对氮肥而言,C、D 两类果园对施氮反应更明显(表 5);对磷肥而言,4 类果园增施磷肥均未表现出增产效果,这可能与该地区多年施用磷肥,并且磷在土壤中移动性差,淋失少,导致土壤有效磷含量较高有关,至于土壤有效磷浓度达到多少,施用磷肥无效果,还需深入研究;对钾肥而言,4 类果园增施钾肥都有增产效果,这可能与该地区土壤本身贫钾以及钾肥施用不足有关。由于不同苹果产区立地条件与气候条件的差异,本研究结果仅供苹果生产参考。

表 5 氮处理对不同类型果园 3 年平均产量与单果重的影响

Table 5 Effect of N treatment on average yield and single fruit weight in three years (kg/666.7m<sup>2</sup>)

类型 Type	对照		低氮		中氮		高氮	
	Control		N treatment at low level		N treatment at middle level		N treatment at high level	
	产量 Yield	单果重 Single fruit weight	产量 Yield	单果重 Single fruit weight	产量 Yield	单果重 Single fruit weight	产量 Yield	单果重 Single fruit weight
A	3965.4b	269.3b	4512.3a	296.5a	4518.5a	287.6a	4416.8a	288.4a
B	3112.3b	211.2b	3512.4a	237.5a	3487.2a	243.6a	3541.8a	242.5a
C	2136.5d	200.3d	2357.6c	215.6c	2645.6a	226.3a	2584.7ab	236.8ab
D	1542.6d	176.3c	1638.7c	186.4b	1832.6ab	192.3a	1876.3a	198.9a

## 4 结论

4.1 不同产量水平果园数据综合分析,随产量水平提高,土壤碱解氮、有效磷、速效钾均呈增高趋势,但土壤碱解氮、速效钾与产量的相关系数较高,有效磷与产量的相关系数较低,在本试验立地条件与管理模式下,适量施用氮、钾肥有增产效果,但对钾肥而言,中高产条件下,土壤施钾配合根外追钾效果更佳;施用磷肥无增产效果。

4.2 叶片全氮与全磷含量与产量的相关系数较低,叶片全钾与产量的相关系数较高,但产量低于 3 000 kg/666.7 m<sup>2</sup> 时二者呈正相关,高于 3 000 kg/666.7 m<sup>2</sup> 时呈负相关。随产量水平提高,果实全氮含量呈增加趋势,

全磷呈下降趋势,全钾变化不大。

4.3 对苹果叶分析诊断时应考虑产量对钾素吸收分配的影响,当高产果园叶钾含量低于标准值时,应进一步分析土壤有效钾含量,若土壤有效钾较高,应加强根外追钾。

## References

- [1] Jones J B. *Plant Nutrition Manual*. Washington, D. C.: CRC Press, 1998:149.
- [2] 李港丽,苏润宁,沈 隽. 几种落叶果树叶内矿质元素标准值的研究. *园艺学报*, 1987, 14(2): 81-89.
- Li G L, Su R N, Shen J. Studies on the nutritional ranges in some deciduous fruit trees. *Acta Horticulturae Sinica*, 1987, 14(2): 81-89.

- (in Chinese)
- [3] 李辉桃, 周建斌, 郑险峰, 党涛, 马文哲, 雷正贤. 旱地红富士苹果园土壤营养诊断和施肥. 干旱地区农业研究, 1996, 14(2): 45-50.
- Li H T, Zhou J B, Zheng X F, Dang T, Ma W Z, Lei Z X. Nutrient diagnosis and fertilization in soils in Fuji apple orchards in rainfed land. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1996, 14(2): 45-50. (in Chinese)
- [4] Wardlaw I F. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytologist*, 1990, 116: 341-381.
- [5] 顾曼如, 束怀瑞, 曲桂敏, 姜远茂, 苗良. 红星果实的矿质元素含量与品质的关系. 园艺学报, 1992, 19(4): 301-306.
- Gu M R, Shu H R, Qu G M, Jiang Y M, Miao L. The relationship between fruit quality and mineral contents in fruit of 'Starking delicious' apple. *Acta Horticulturae Sinica*, 1992, 19(4): 301-306. (in Chinese)
- [6] 全月澳, 周厚基. 果树营养诊断法. 北京: 农业出版社, 1982: 95-100.
- Tong Y A, Zhou H J. *Diagnosis Methods of Fruit Tree Nutrition*. Beijing: Agricultural Press, 1982: 95-100. (in Chinese)
- [7] Jones J B. Soil testing and plant analysis: Guides to the fertilization of horticultural crops. *Horticulture Review*, 1985, 7: 1-68.
- [8] Sugar D, Righetti T L, Sanchez E E, Khemira H. Management of nitrogen and calcium in pear trees for enhancement of fruit resistance to post harvest decay. *Horticulture Technology*, 1992, 2(3): 382-387.
- [9] Marschner H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, 1990.

(责任编辑 曲来娥)