

# 矮化砧苹果树的养分管理



程来亮

康奈尔大学园艺系

# 内容：

- 养分需求
- 养分供应来源
- 树体养分状态
- 养分管理策略

# 与实生砧树相比矮化砧树具有如下的特点：

- 根系较小且较浅
- 结果早
- 产量高

# 养分需求

- 必需营养元素
  - 大量元素: 氮 (N), 磷 (P), 钾 (K), 钙 (Ca), 镁 (Mg), 硫 (S)
  - 微量元素: 硼 (B), 锌 (Zn), 铜 (Cu), 锰 (Mn), 铁 (Fe), 钼 (Mo), 氯 (Cl), 镍 (Ni)
- 需求: 时间和数量

# 养分需求的确定

- 6年生沙培Gala/ M.26苹果，种植密度  $1.07 \times 3.35\text{m}$  (约每亩186株)。
- 在整个生长季，每株树通过霍格兰氏营养液施用 30 g N。
- 在中心果果径约10 mm时，疏果调整至每平方厘米主干横截面8.2个果 ( 8.2 fruit/cm<sup>2</sup> TC A ) 的挂果量 (约每树104个果)。
- 在每个发育的关键期，破坏性取4株树进行分析





# 叶片和果实的营养状态

## 大量元素 (%)

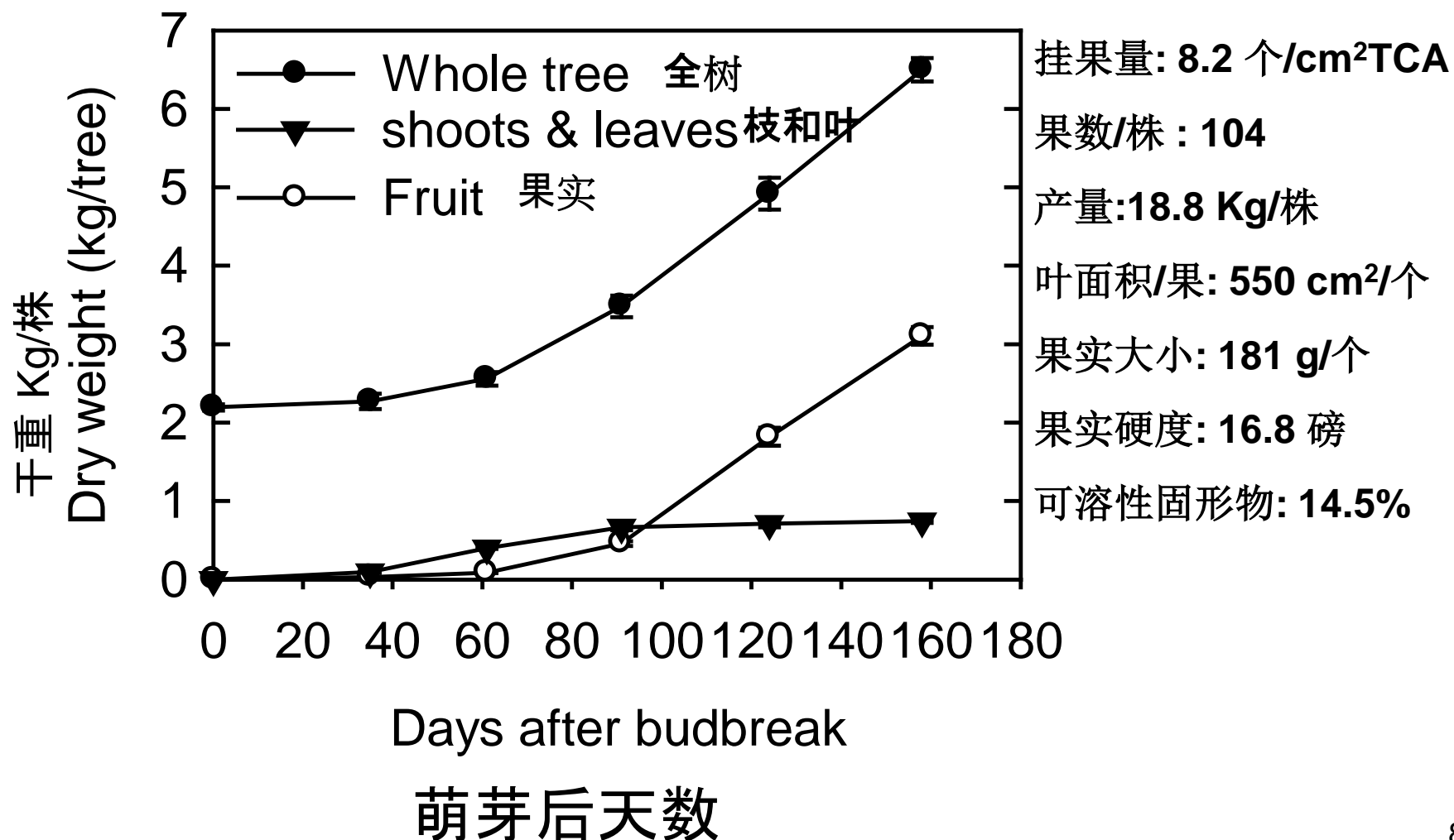
组织	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
叶片	2.00	0.18	1.61	1.10	0.39
果实	0.25	0.06	0.80	0.05	0.04

## 微量元素 (ppm)

组织	<i>B</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>
叶片	27.3	27.3	8.3	143.8	83.5
果实	21.8	3.5	3.8	7.8	25.3



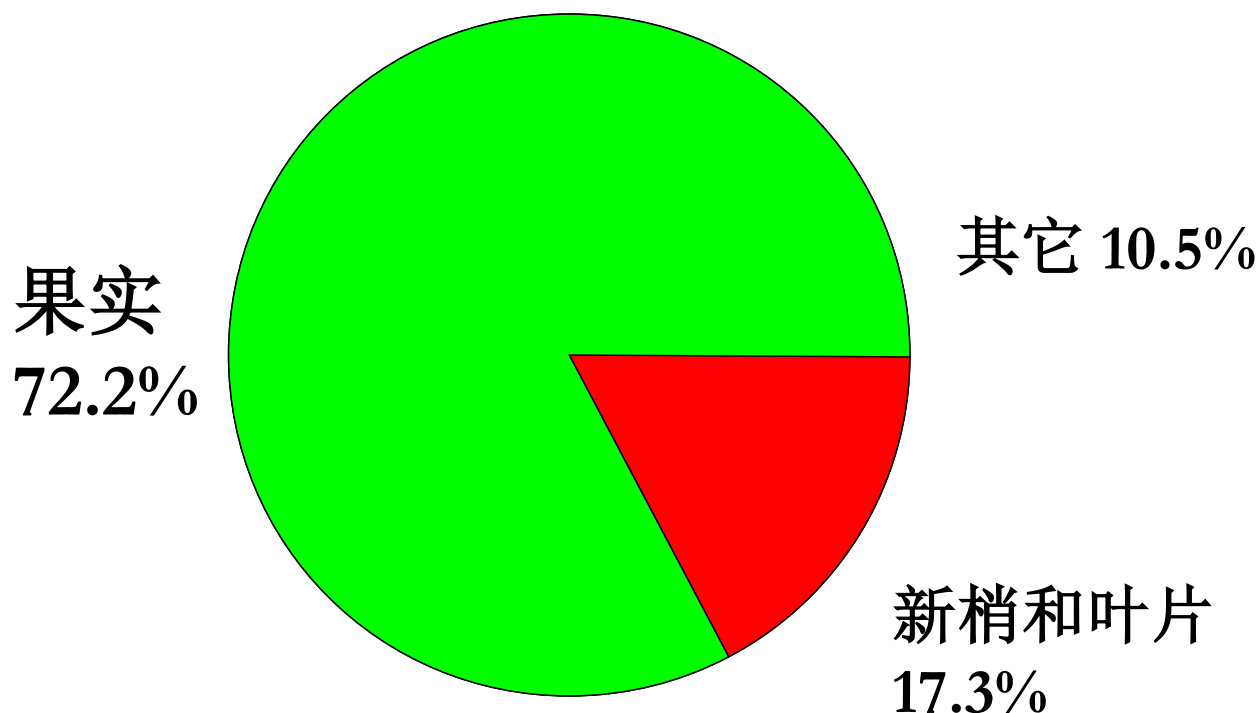
## 6年生Gala/ M.26苹果的干物质积累量



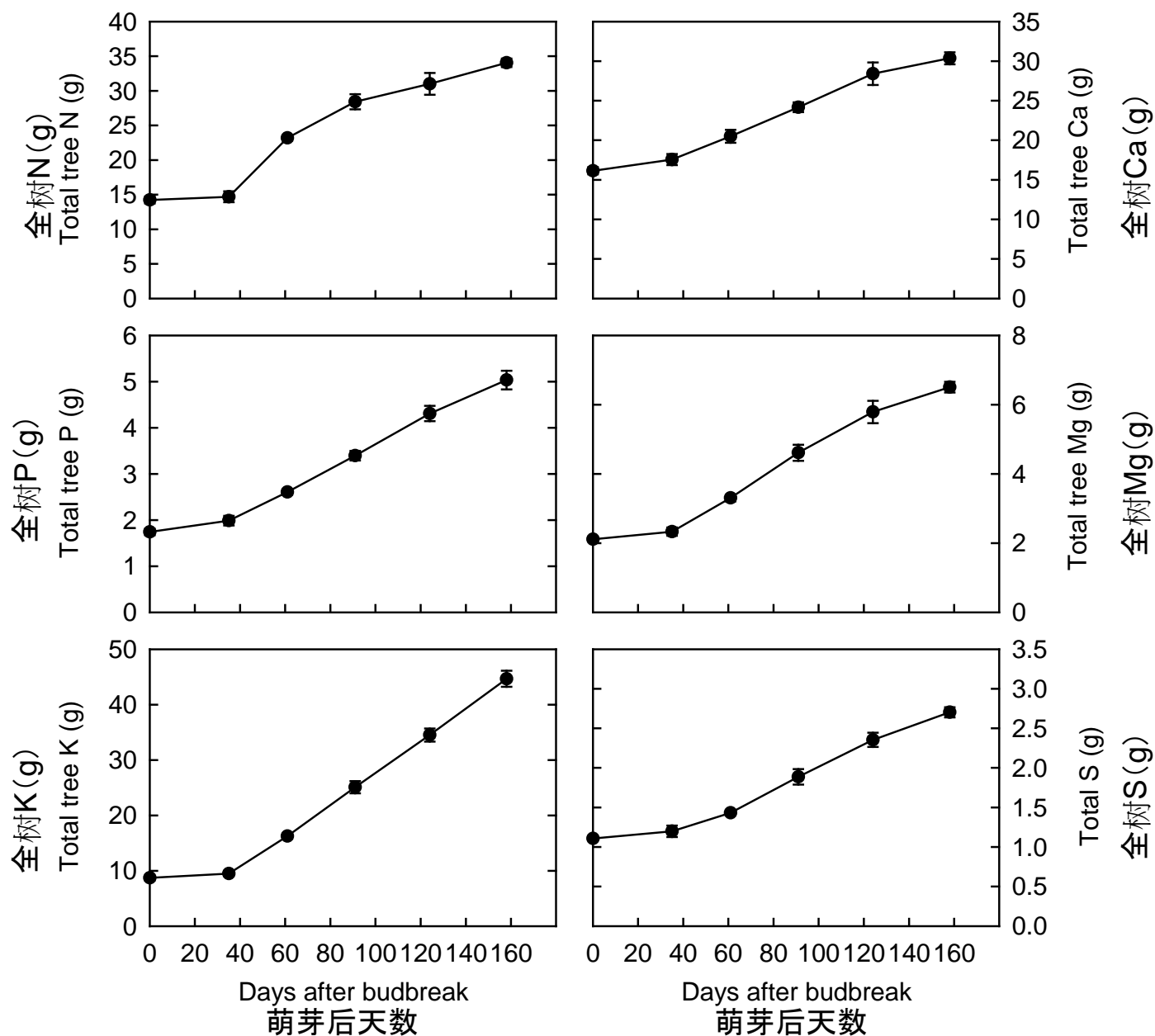


# 干物质的净积累量及和干物质的分配

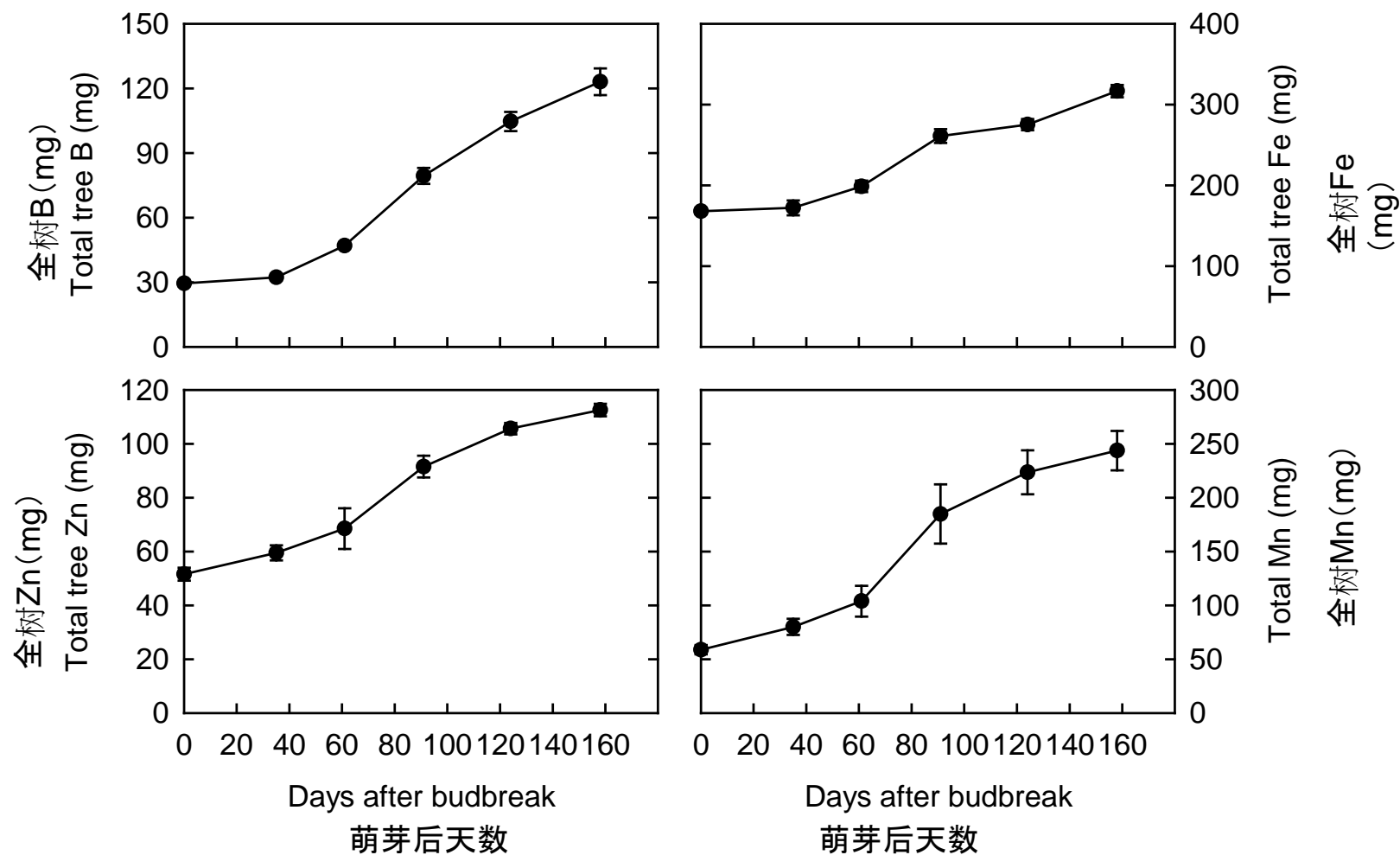
(干物质的净积累量: 4.3 kg/株)



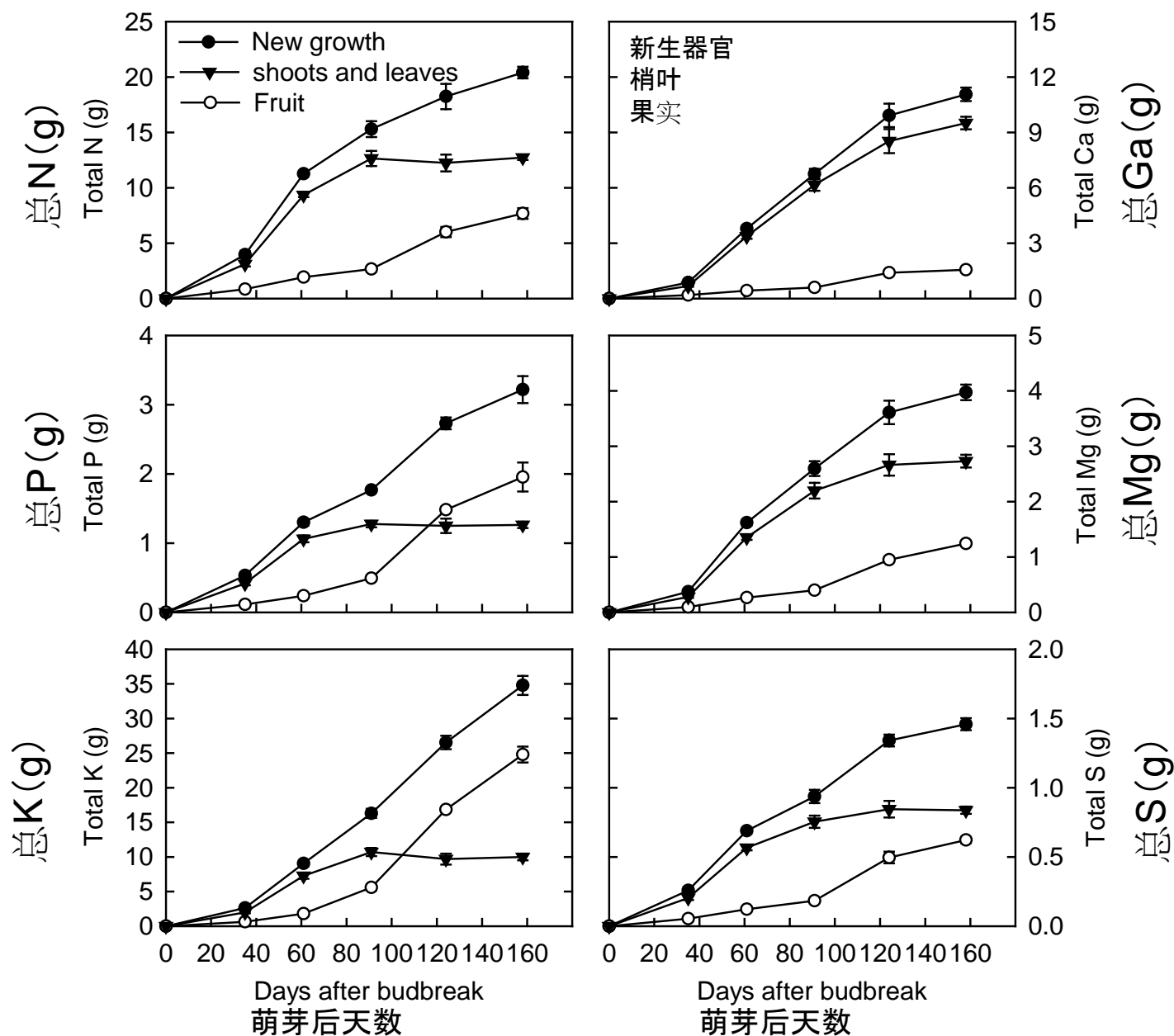
# 整株树大量营养元素的积累规律



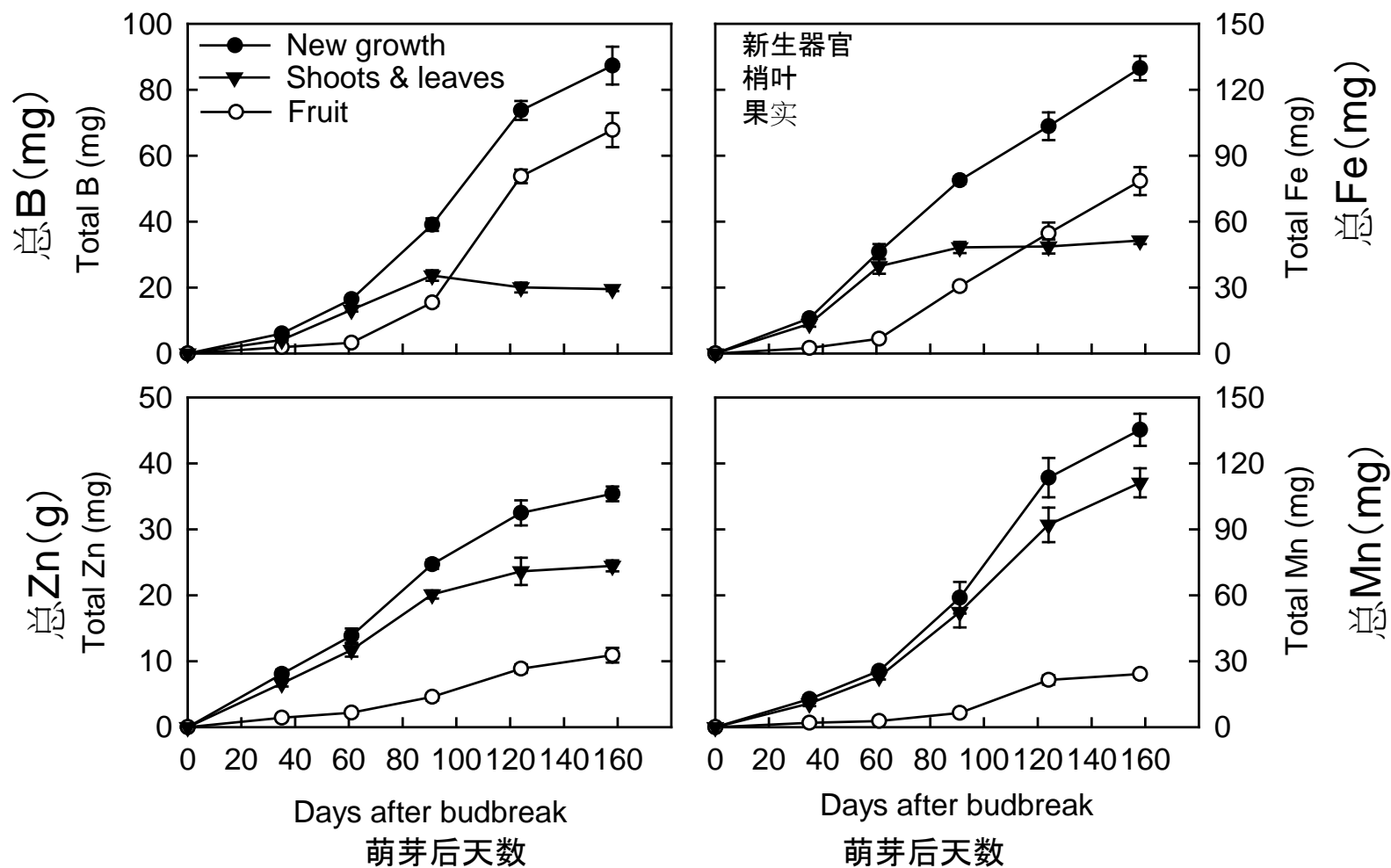
# 整株树微量营养元素的积累规律



# 新生器官大量元素累积规律



# 新生器官微量元素累积规律



# Gala/ M.26苹果营养需求 (52.5 吨/公顷 or 3.5吨/亩)

## 大量元素 (kg/亩)

	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
整株净积累	3.78	0.62	6.76	2.68	0.82
新生长器官	3.84	0.61	6.55	2.08	0.75

## 微量元素(g/亩)

	<i>B</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>
整株净积累	17.40	11.35	9.08	34.81	28.00
新生长器官	16.65	6.81	3.78	25.73	24.21



# 基于产量的养分需求

大量元素 (kg/亩)

产量(kg/亩)	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>S</i>
1000	1.05	0.17	1.91	0.76	0.23	0.08
2000	2.11	0.35	3.82	1.51	0.47	0.17
3000	3.16	0.52	5.73	2.27	0.70	0.25
4000	4.21	0.70	7.65	3.02	0.93	0.34
5000	5.26	0.87	9.56	3.78	1.17	0.42
6000	6.32	1.05	11.47	4.53	1.40	0.51

# 小结

- 产量3.5吨/亩的养分需求:

N: 3.68, P: 0.61, K: 6.69, Ca: 2.64, Mg: 0.82, S: 0.30 kg/亩

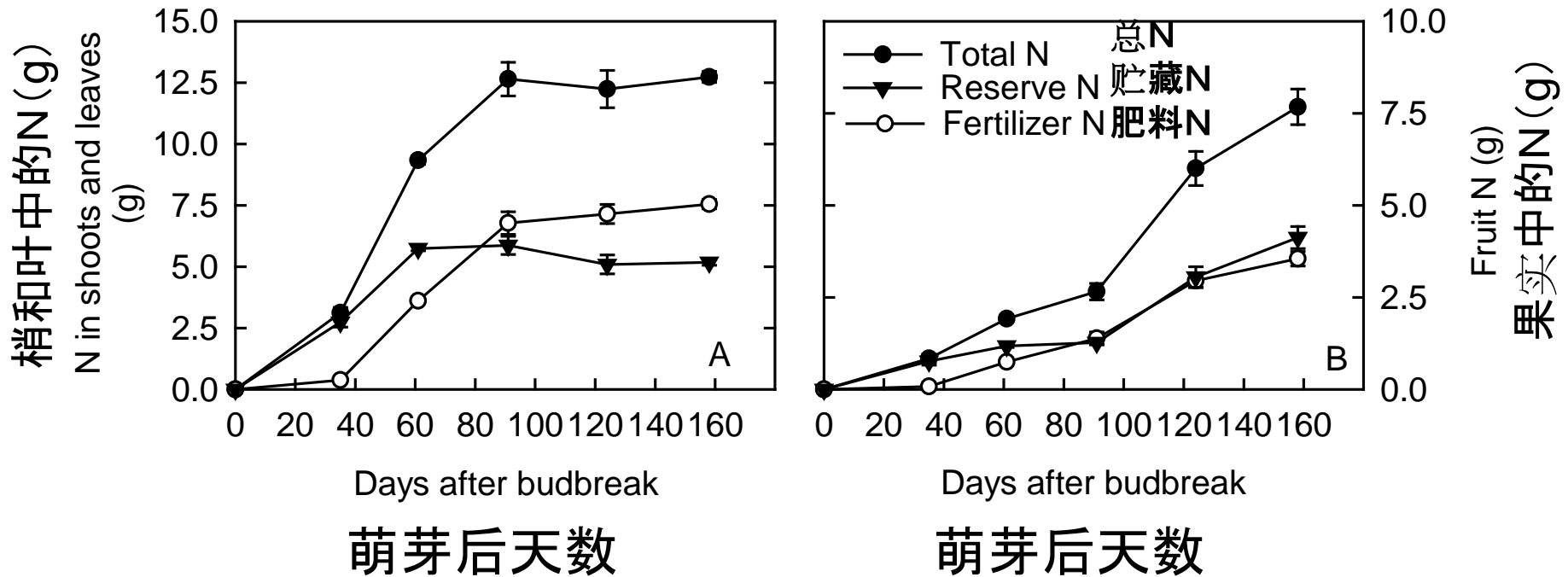
B: 17.4, Zn: 11.3, Cu: 8.6, Mn: 34.4, Fe: 27.7g/亩

- 从开花至新梢停长是氮营养的最高需求时期，此后需求量较低且稳定；其他的营养元素从开花至采收的整个发育期需求相对稳定。
- 叶片和果实养分需求不同
  - 时间: 叶片为开花至新梢停长；果实为新梢停长至果实采收
  - 数量: 果实比叶片需要更多的 P, K, B和 Fe。

# 养分供应来源

- 树体贮藏养分
  - 对在韧皮部中可移动的养分重要
- 土壤
- 通过叶片或土壤施用的肥料

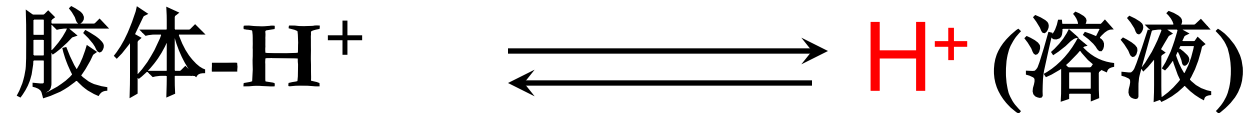
# 树体贮藏氮素对新生长器官的贡献



# 土壤分析

- 土壤分析可为种植前准备提供酸碱度(pH)和有效矿质营养的数据，也可为树体营养状态的正确诊断提供依据。然而，目前只有Ca, Mg, K, P, B, 和Al有最佳的范围可供参考。
- 土壤采样
  - 晚夏或秋季采果后
  - 表土 (0 to 25cm)和心土 (25 to 50cm)分开采样
  - 彻底抽样 (60亩的果园每个样品要有10~20个小样)

# 土壤 pH

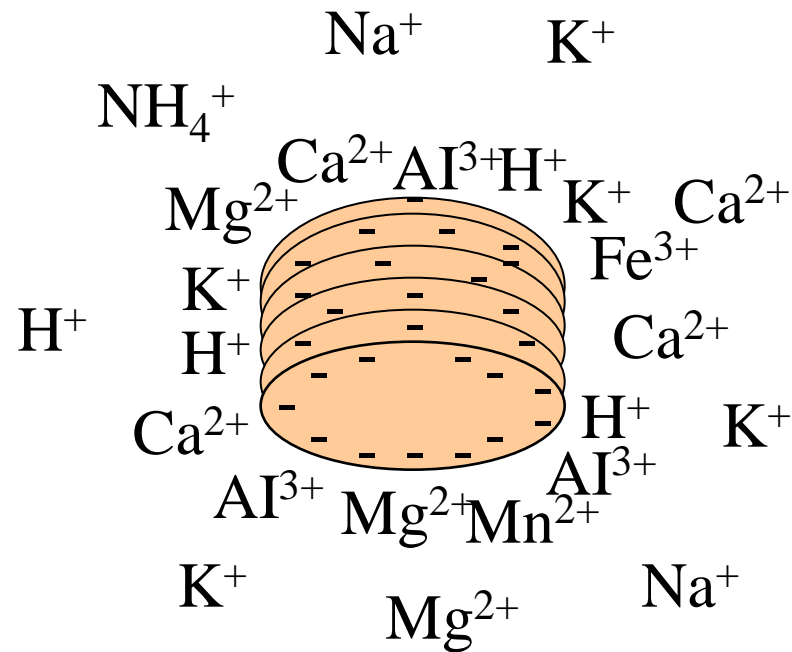


$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

- 苹果的最适 pH : 6.0~6.5.



# 土壤胶体对阳离子的吸附



呈酸阳离子:  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$

盐基离子:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$

# CEC和对 Ca, Mg 和 K 大概需求量

土质	<i>CEC</i> ( <i>meq/100g</i> )		<i>Ca</i> (磅/英亩)		<i>Mg</i> (磅/英亩)		<i>K</i> (磅/英亩)	
	0-25cm	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50	0-25	25-50
沙土, 砾土	5	3	1,500	800	185	100	150	100
砂质壤土	12	8	3,600	2,100	440	260	350	220
壤土, 粉壤土	18	12	5,500	3,200	660	385	525	335
粉质粘壤土	20	14	6,100	3,700	740	450	580	370
粘壤土, 粘土	25	18	7,600	4,800	900	580	730	465

# 土壤测试P值和 $P_2O_5$ 施用量

土壤测试值 (P 磅/英亩)	种植前 $P_2O_5$ 磅/英亩	建园后 $P_2O_5$ 磅/英亩
<1	120	60
1-3	100	60
4-8	60	30
9+	40	0

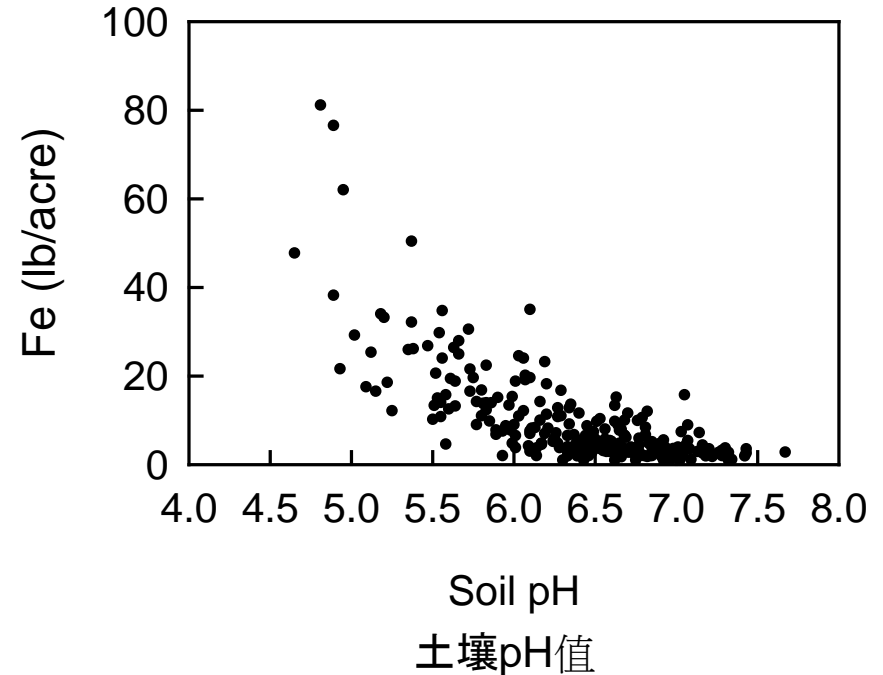
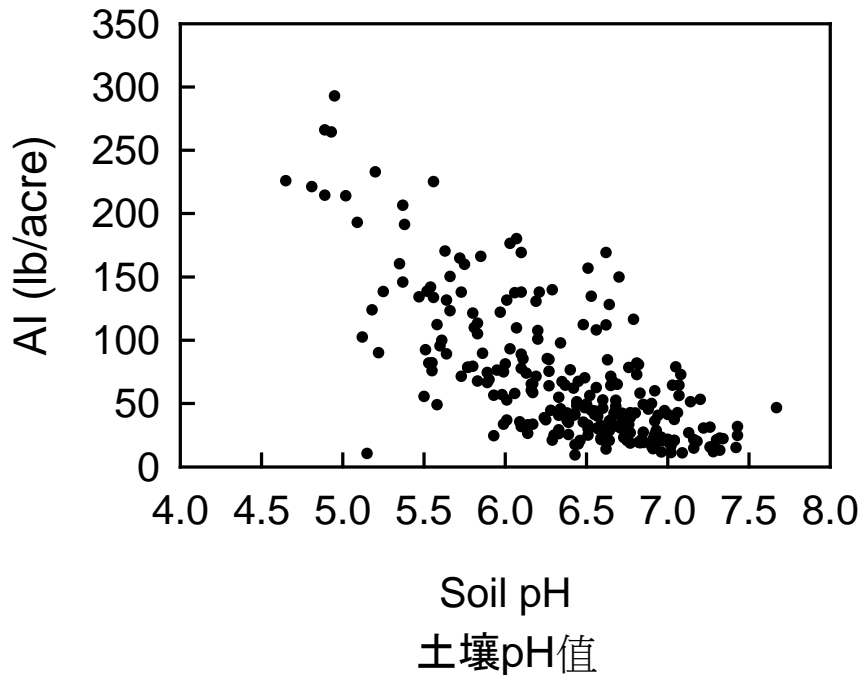
种植前  $P_2O_5$ 施用量 (磅/英亩):  $(9-P) \times 10 + 40$

建园后  $P_2O_5$ 施用量:  $(9-P) \times 5 + 20$

# 土壤测试 B水平和 B的施用量

相对水平	壤土, 粉砂壤土 B (磅/英亩)	砂质壤土 B (磅/英亩)	壤质砂土 B (磅/英亩)	施用量 B(磅/英亩)
很高	>2.4	>1.8	>1.2	0
高	1.6-2.4	1.2-1.8	0.7-1.2	1
中等	0.8-1.6	0.6-1.2	0.4-0.7	2
低	<0.8	<0.6	<0.4	3

# 土壤pH 与Al, Fe和Mn的关系



**Al含量或Al, Fe和Mn总含量达200磅说明有问题**

# 土壤Zn和Cu

- 随pH增加有效性降低
- 受土壤高P含量的负面影响
- 高有机质可能会降低有效性
- 最适的范围尚未建立



# 施用石灰石的好处

- 增加Ca, Mg和 P的有效性
- 降低 Al, Fe和Mn水平，避免毒害问题
- 促进微生物活动，改善土壤结构
- 改善根系生长和肥料施用的效率

# 石灰石需求量

- 种植前

- 目标 pH: 表土 7.0; 心土 6.5
- 建立在 CEC, 目标 pH 的盐基饱和及  $\text{Ca/Mg} = 5/1$  的基础上.

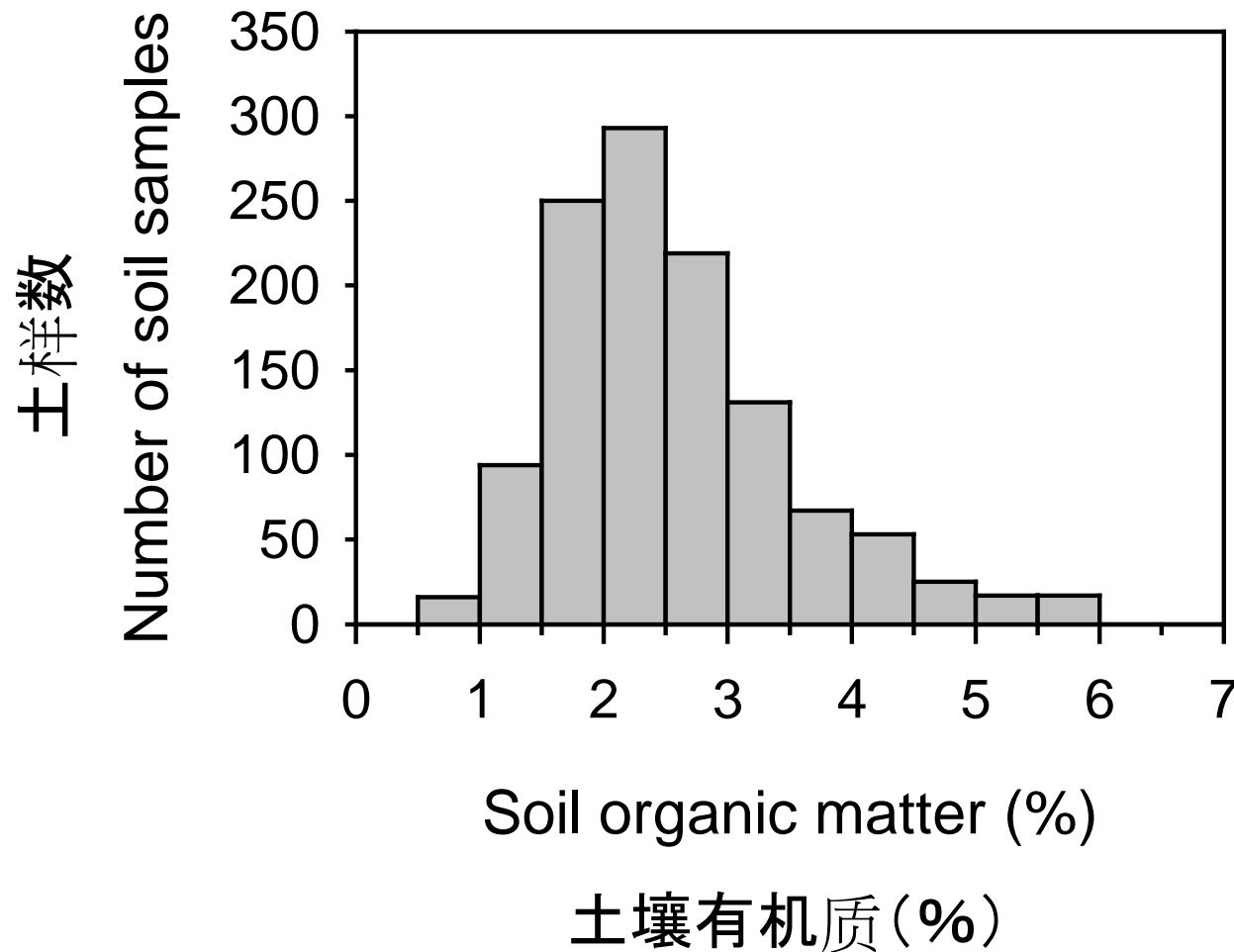
- 维持

- 目标 pH: 6.0 to 6.5.
- 在土壤和叶片分析的基础上, 纽约果园每2年每英亩施2吨石灰石

# 土壤有机质 (SOM)

- 提供 N, K, P和很多其它的养分
- 增加CEC, 水稳性团聚体和持水能力
- 支持多样化的微生物群落
- 减少养分的淋失

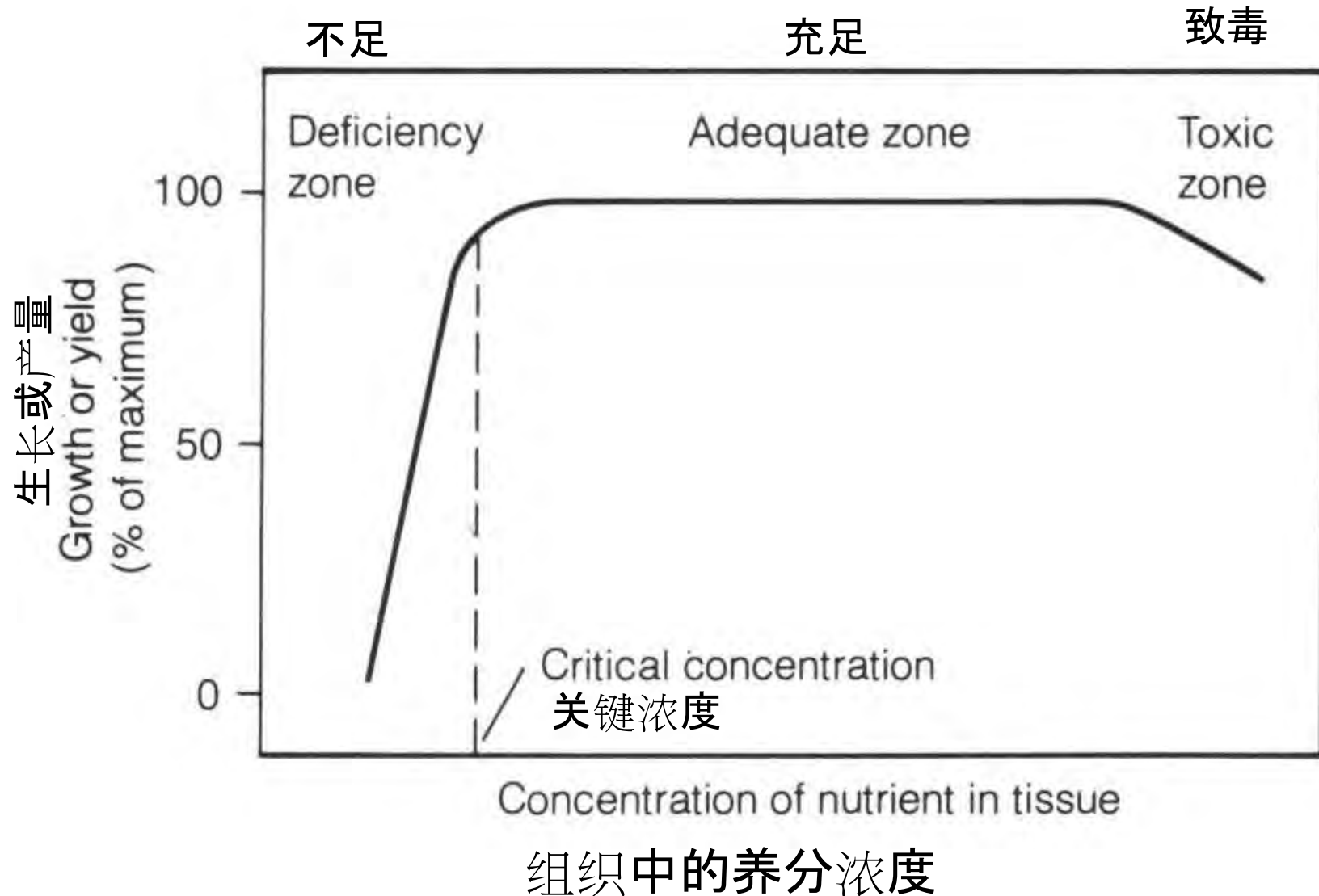
# 纽约果园土壤的有机质含量



# 通过组织分析诊断树体的养分状态

- 组织分析提供植物养分含量的真实数据，可反映供求关系
- 然而,组织的养分含量受树势和挂果量的影响，因而仅有组织分析不足以形成一套有效的施肥方案

# 树体生长和产量及组织的养分含量





# 叶片取样

- 花瓣脱落后60~ 80天 (八月初).
- 一个品种取100片带叶柄的叶子可代表一个地块 (<10 英亩)
- 叶片无病虫害损伤
- 作如下记录:
  - 梢长和粗度
  - 叶子的相对大小和外观
  - 病虫害发病情况和可见的缺素症
  - 挂果量
  - 修剪强度
  - 杂草控制的有效性

# 样品准备

- 在温和的洗涤剂中轻轻清洗后用蒸馏水漂洗三次
- 用纸巾轻触吸干
- 松散装于纸袋中风干
- 贮藏于温暖干燥的地方直至样品前处理

# 叶片分析说明

- 与标准比较分析结果
- 在评判具体含量的同时考虑养分之间的平衡
- 综合考虑树体生长、挂果量、土壤养分有效性以及其它的因素

# 苹果叶片的氮素

树类型	叶片 N (%)
未结果苹果幼树	2.4 – 2.6
结果苹果幼树	2.2 – 2.4
成年软品种	1.8 – 2.2
成年硬品种	2.2 – 2.4

- 枝梢生长: 10~16 英寸 (25 ~40 cm)
- 挂果量: 负载量大的树叶片N含量高;
- 干旱及杂草的竞争降低叶片N含量;
- 当叶片N含量<2.2时更倾向于隔年结果

# 其它养分

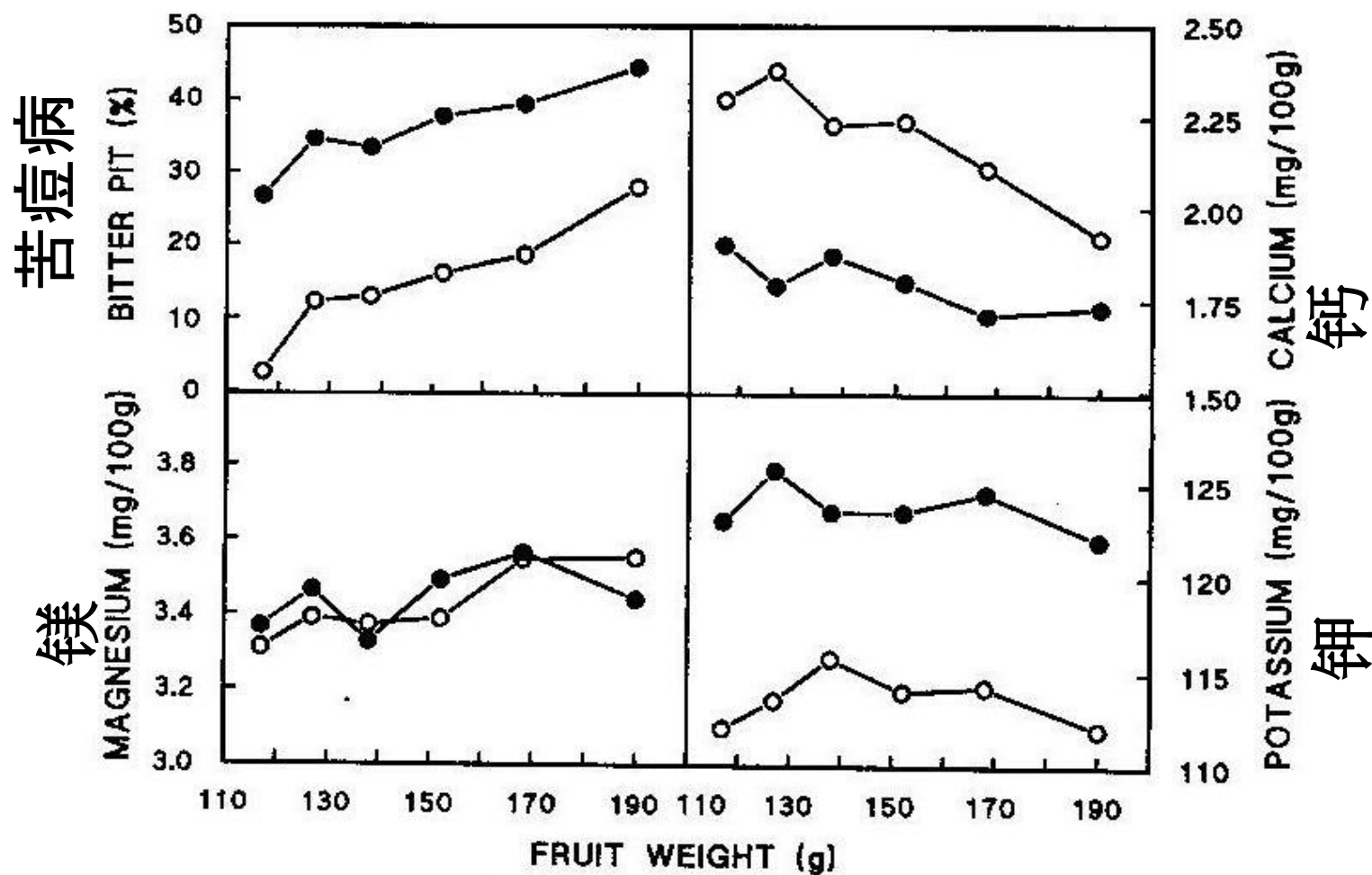
<i>Nutrients</i>	养分	<i>Desired level</i> 适宜含量
<b>Phosphorus</b>	磷	<b>0.13-0.33%</b>
<b>Potassium</b>	钾	<b>1.35-1.85%</b>
<b>Calcium</b>	钙	<b>1.3-2.0%</b>
<b>Magnesium</b>	镁	<b>0.35-0.5%</b>
<b>Boron</b>	硼	<b>25-50 ppm</b>
<b>Zinc</b>	锌	<b>25-50 ppm</b>
<b>Copper</b>	铜	<b>7-12 ppm</b>
<b>Manganese</b>	锰	<b>50-150 ppm</b>
<b>Iron</b>	铁	<b>50+ ppm</b>

# 叶片磷

- 最适范围: 0.13~0.33%.
- 低磷常与低土壤pH 有关.
- 高磷通常是由于缺Zn的小叶病引起的浓缩效应

# 叶片钾

- 最适范围: 1.35 ~ 1.85%
- N/K 比: 旭为 1.00 ~ 1.25; 元帅为 1.25 ~ 1.5
- 干旱降低叶片钾
- 与挂果量成负相关



果重(克)

负载量重(○)和轻 (●)树苦痘病发病率和果实钙、镁、钾浓度。数

据是4个果园的平均值。 From: Ferguson & Watkins 1992 JASHS 117:373



# 叶片钙

- 最适范围: 1.3 ~ 2.0%
- 土壤pH低及缺乏硼和锌会引起叶片钙含量低
- 叶片钙含量高，果实中的钙营养状态不一定好，因为钙素转运受蒸腾作用驱动且在韧皮部中的可移动性低



# 叶片镁

- 最适范围: 0.35 ~ 0.50%
- 钾/镁 应该为 4或更低
- 低的土壤pH或高钾可能会造成叶片镁含量低
- 施用含镁的石灰石, K和Mg的硫酸盐以及叶片施用 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

# 叶片硼

- 最适范围: 25 ~ 50 ppm.
- 土壤湿度影响硼的有效性
- 在缺乏时，土施和叶面喷施都是必须的
- 在没有土壤测试的情况下，当叶片  
B<25ppm时建议土施B 2 磅/英亩

# 叶片锌

- 最适范围: 25~50 ppm.
- 磷/锌比值应该是100或更低
- 高 pH, 高磷酸盐, 高有机质和低温降低锌.
- 在缺乏时, 叶片喷施螯合态锌最有效

# 叶片铜

- 最适范围: 7 ~12 ppm
- 高 pH以及高磷和有机质含量降低铜的有效性
- 在萌芽后绿顶阶段 (green tip)喷含铜杀菌剂最有效  
在开花期喷布铜剂会引起严重的锈斑果。

# 叶片锰

- 最适范围: 50 ~150 ppm
- 高的土壤 pH (>6.3) 导致缺乏，相反低的 pH (<5.6) 会导致过剩
- 如果缺乏在落花后10至14天喷布一次硫酸锰 (4 磅/100加仑) 即可

# 果实分析

- 两种类型: 7月份的小果或采收阶段的果实
- 目的: 诊断和（或）预测
- 用于长期贮藏的Cox和Bramley品种采收阶段果实的标准 (mg/100 g 鲜果)

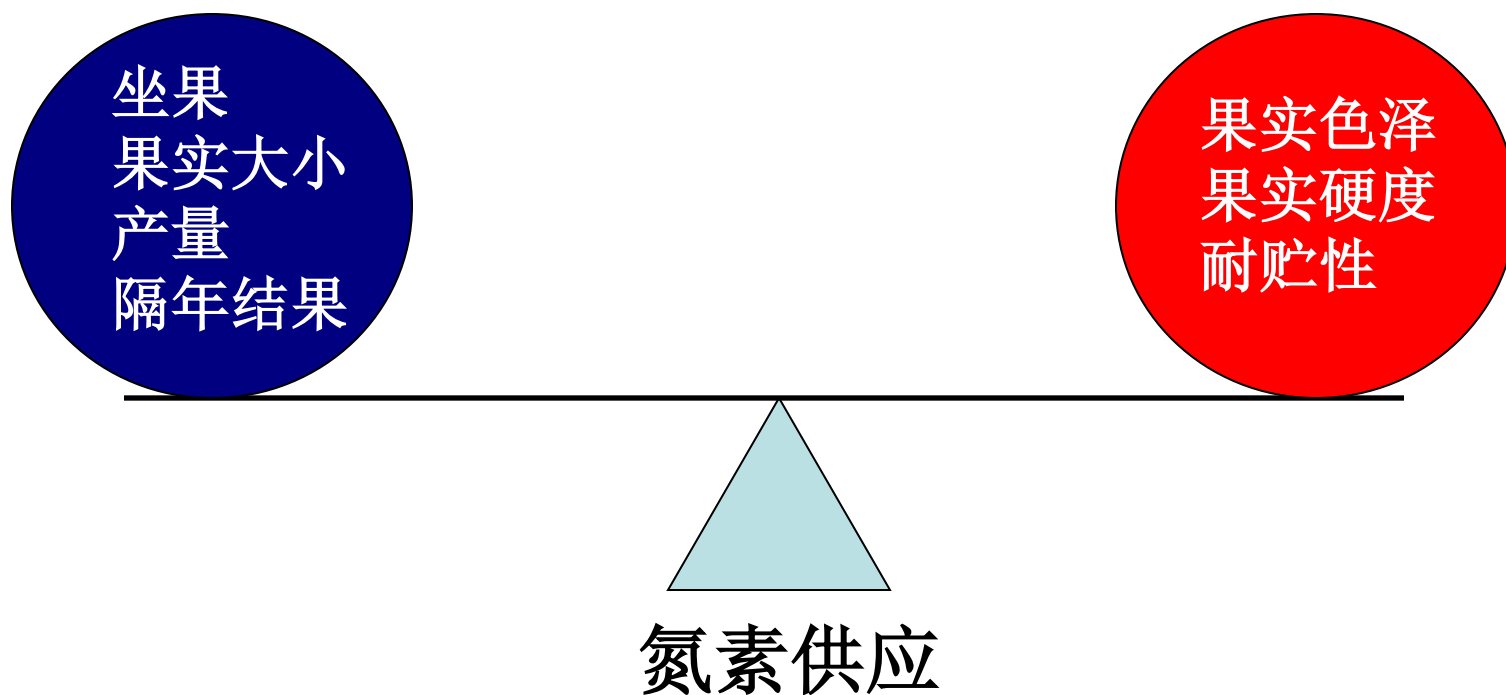
品种	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Mg</i>	<i>Ca</i>
Cox	50 - 70	11 (min)	130 - 170	5.0	5.0
Bramley	60 (max)	9 (min)	105 -115	5.0	5.0

# 养分管理策略

- 传统的方法: 时机和施用量
- 灌溉施肥技术 (施肥 + 灌溉)
- 控释肥料
- 增进土壤有机质



# 氮的供应





22

66

131

262 N磅/英亩





# 不同氮水平处理Gala/M.26第二年开花情况



2007



2008

# 树体氮素的理想状态模式

- 在产季早期树体有较高的氮素水平来促进树冠的快速形成和果实早期的生长。
- 随着产季的推进, 氮素逐渐降低以保证果实品质的形成和枝条的成熟。

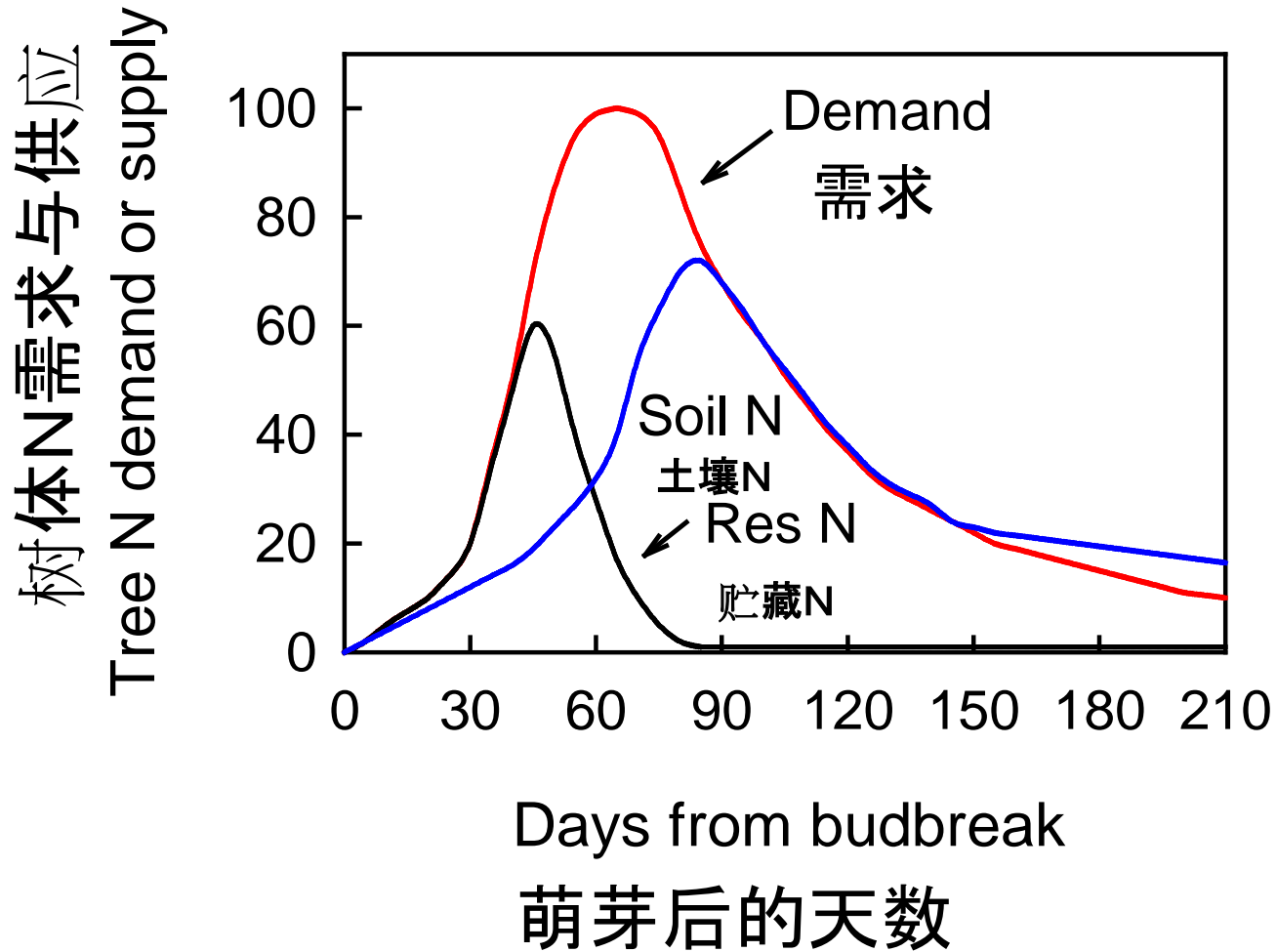
# 苹果叶片氮素分析的标准

<i>树的类型</i>	<i>Leaf N (%)</i>
未挂果幼树	<b>2.4 – 2.6</b>
挂果幼树	<b>2.2 – 2.4</b>
成年软的品种	<b>1.8 – 2.2</b>
成年硬或加工品种	<b>2.2 – 2.4</b>

软的品种: **Cortland, Empress, Goldens, Honeycrisp, Mac, Jersermac, Jonagold, Jonamac, Jonathan, Macoun, Mutsu, Paulared, Spartan** 以及其它早熟品种

硬的品种: **Delicious, Empire, Gala, Idared, Liberty, Melrose, Rome, Stayman, York Imperial** 以及加工品种

# 树体氮素的需求与供应



# 树体氮素施用的时机

- 生长季早期 (萌芽至花瓣脱落)和迟的氮素施用均能满足树体对氮素的需求
- 对于不肥沃的土壤或者对氮素不敏感的品种，宜在春夏季期间分开多次的施用

# 氮素的施用量

- 树体氮素的需求量
- 土壤中氮素的自然供应
- 肥料施用后的吸收效率



# 土壤中氮素的自然供应

- 1% 有机质每年释放氮素20 磅/英亩
- 氮素的吸收效率约为 60%
- 1% 有机质可对苹果树贡献氮素 12 磅/英亩

# 应施用的氮素量

- 氮素的需求量与可从土壤的吸收量（应考虑吸收效率）之间的差异
- 地点的差异
- 作为经验法则, 每增加 10% 的肥料可增加0.1%叶片氮素量

# 对山东省果园氮肥利用率的估算

- 据姜远茂教授的调查，栖霞果园2012平均施氮量为90kg/亩（33 ~ 426kg/亩）
- 产量5000kg/亩时，苹果树对N素总需求量约为5~6kg
- 假定土壤自然供N对树体的贡献为20%，推算出的N肥利用率仅为  $6 * (100 - 20) / 90 \approx 5\%$

# 氮肥利用率不可能这么低（5%）

- 长期大量施用N肥使土壤酸化（据姜远茂教授的调查，栖霞果园2012土壤平均pH为5.5），导致保肥能力降低；
- 很多果园树体旺长表明N肥用量大大超出树体需要；
- 如果N肥利用效率达到25%，N肥施用量可降到目前用量的1/4到1/5。

# 叶面喷施氮素

- 叶面喷施氮素可以满足产季早期氮素的需求或者增加秋季树体氮素的储备量
- 产季早期: 0.4 ~ 0.6% 尿素; 秋季: 3% 尿素

# 氮素施用总结

- 生长季早期 (萌芽至花瓣脱落)和晚期的氮素施用均能满足树体对氮素需求
- 应施的氮素量取决于树体的氮素状态和土壤中氮素自然供应
- 叶面喷施氮素可以满足产季早期树体氮素的需求或者增加秋季树体氮素的储备

# 钾肥的施用

- 秋季施用
- 维持施K(6 ~8 kg/亩) 与校正施K (12~ 16 kg  $K_2O$  /亩).

## 不同Gala产量带走的钾量

产量 (kg/亩)	K (kg/亩)	$K_2O$ (kg/亩)
1000	1.33	1.60
2000	2.67	3.22
4000	5.33	6.42
6000	8.00	9.64

From: Cheng and Raba, 2009

# 钙素管理

- 调节土壤 pH 以获得适当的土壤钙素供应
- 促进和维持根系生长和吸收 (B, Zn, 水的可用性)
- 与氮和钾的平衡很重要
- 控制树体的长势来缓和与果实竞争钙
- 避免挂果量低的情况



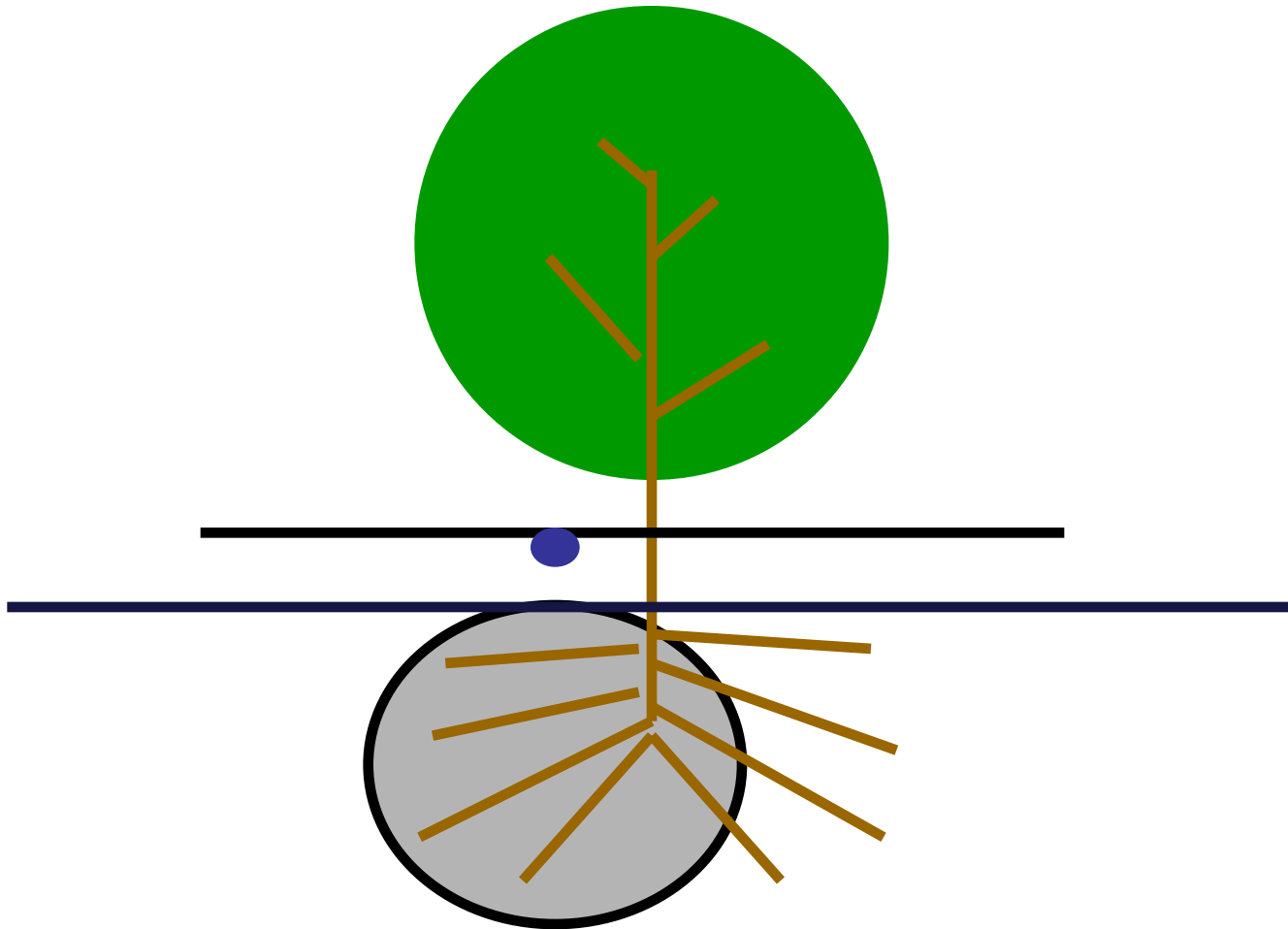
# 喷施钙

- 谢花后7~10天起每隔两周喷施3 ~ 4 次1 ~2 磅 /100加仑  $\text{CaCl}_2$  (78%) 或者等价的钙
- 在采前4周和2周增加喷施钙 3~ 4磅/100加仑

这个方案可提供实际钙含量 7.5-13.4磅/英亩

# 灌溉施肥技术: 潜在的优点

1. 适时给根系层提供各种养分
2. 减少养分的淋失



# 应用可能存在的问题

- 化学物的不相容导致的沉淀

- **Ca, Mg, Fe, Zn**和**Cu**不能与 **$\text{PO}_4^{3-}$** 或 **$\text{SO}_4^{2-}$** 混和

- 水中高的**Fe**含量可能会有沉淀问题

- 物质的溶解度

- 钾肥的溶解度往往较低

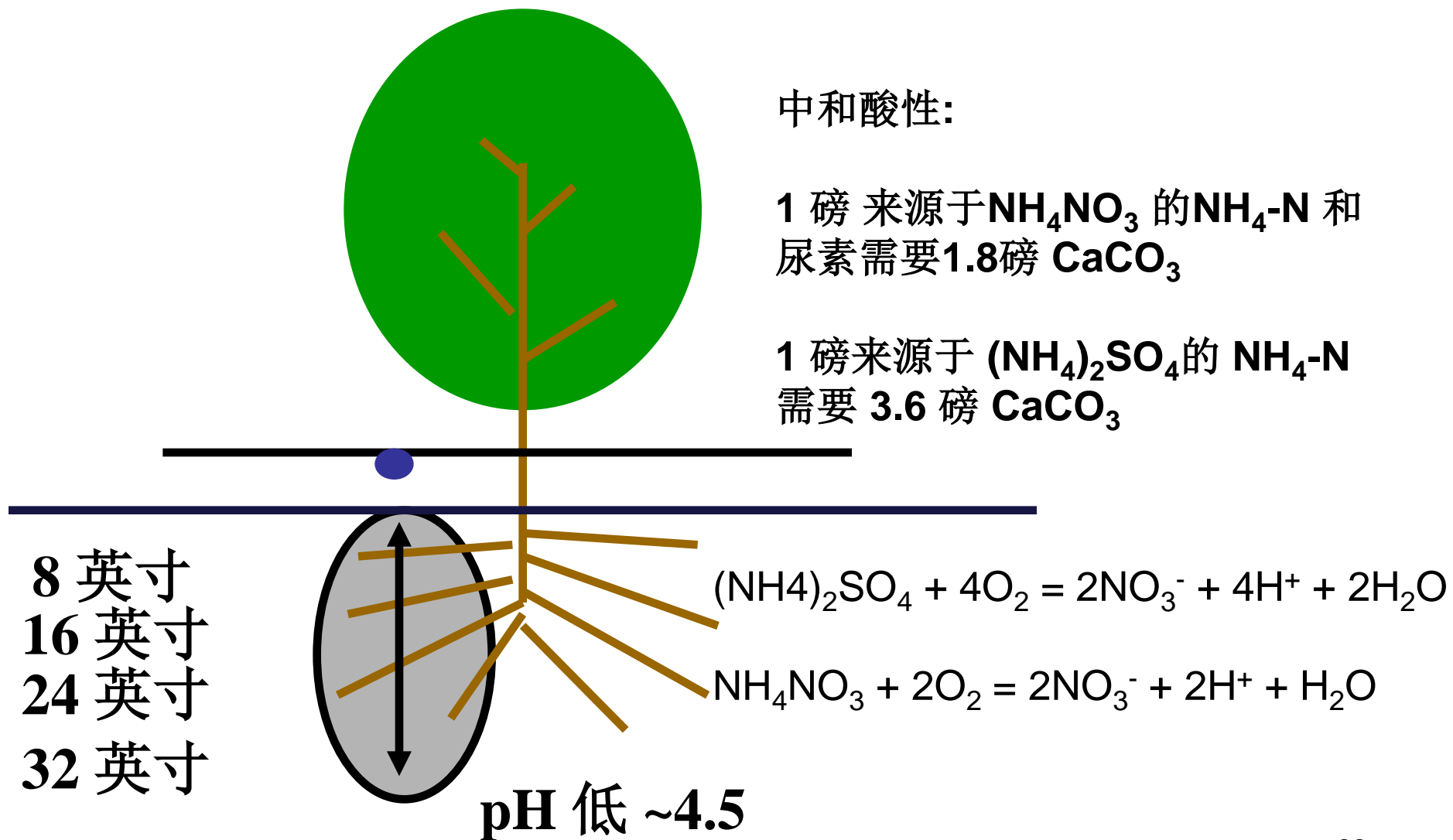
- 热水往往能增加溶解度但要注意析出

- 土壤的酸化

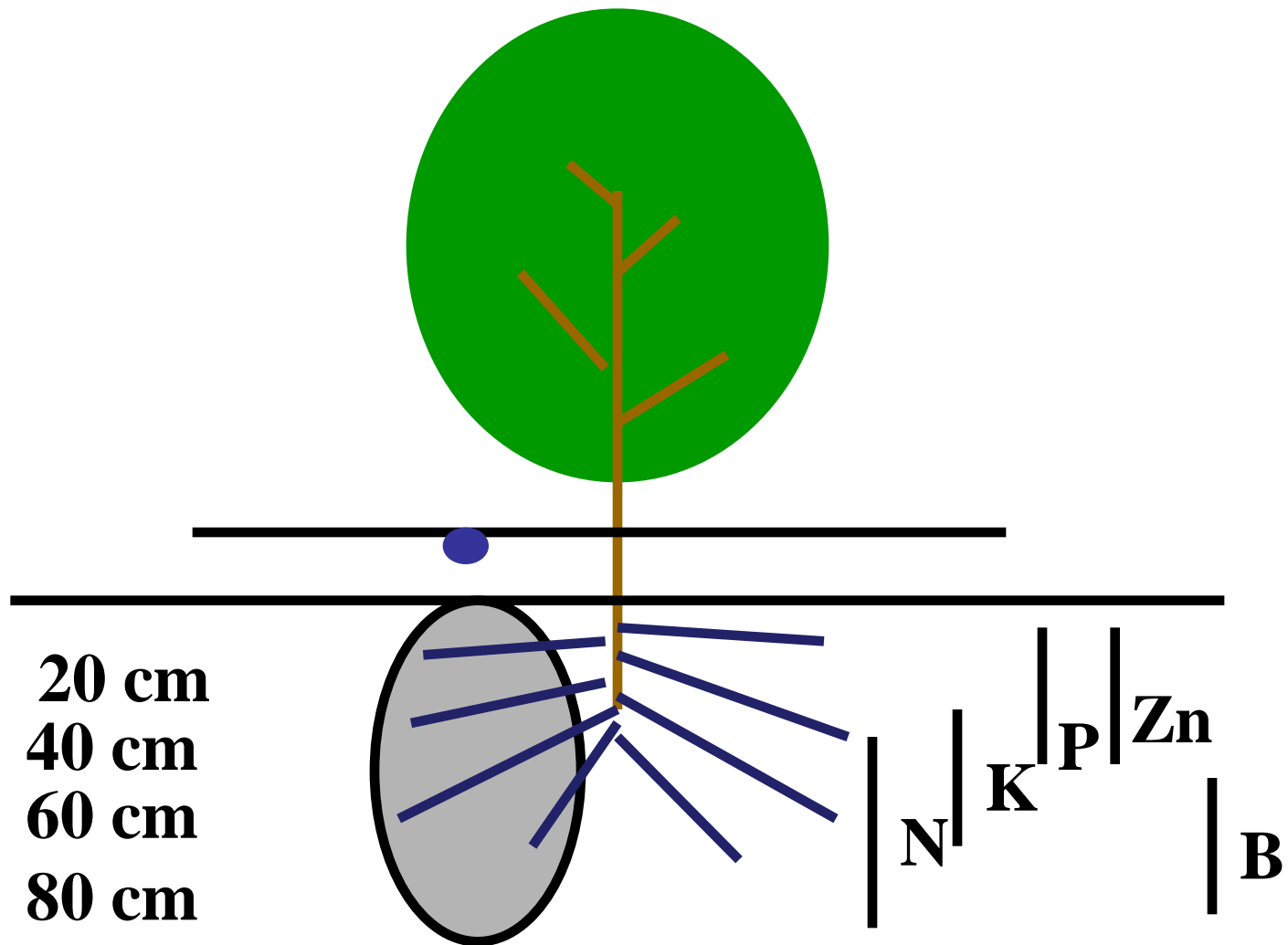
- 如果使用酸化的氮肥会使滴水口下的土壤很酸

- 要求沿滴水线条状施用石灰石

# 6年后滴水口下的pH



# 土壤中养分的分布



# 通过灌溉施肥技术施用氮和钾肥:

## • 氮

- $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (酸化)
- $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  (液体)
- $\text{KNO}_3$  (溶解度低)
- Urea (肥效慢)
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (与磷不相容)
- 尿素 /  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  复合物 (URAN) (液体)

## • 钾

- $\text{KCl}$  (溶解度中等)
- $\text{KNO}_3$  (溶解度低但同时是好的氮素来源)
- $\text{K}_2\text{SO}_4$  (溶解度低)
- 液态钾肥含碳酸钾的浓度低

# 其它肥料的灌溉施肥:

- 磷

- $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (溶解度低)
- $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$  (液体)
- 对于苹果磷最好种植前施用

- 钙

- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (与磷不相容)(钙含量太低)

- 镁

- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (易溶但与磷不相容)

- 硼

- 硼砂(易溶而且可通过滴灌精确施用)

- 锌

- 螯合锌 (有效但不经济)

# 施用策略：

## 1. 在所有的灌溉水中养分的浓度稳定

### — 轻质土壤

- \* 幼树**N=100ppm**，成年树**N=50ppm**
- \* 幼树**K=10ppm**，成年树**K=50ppm**

### — 粘质土壤

- \* 幼树**N=50ppm**，成年树**N=30ppm**
- \* 幼树**K=10ppm**，成年树**K=50ppm**

### — 该策略的优点

- \* 树根系周围土壤溶液中肥料的浓度稳定

### — 该策略的缺点

- \* 施肥量取决于水分的需要量
- \* 在潮湿年份施肥量少
- \* 在干旱年份施肥量多



# 纽约的施肥策略

## 2. 肥料的周施用剂量 (纽约策略)

- 每年应施肥料的总量分成数周（约10周），肥料分于这几周施用
- 当周的施用量在该周中某天的灌溉周期中施用
- 如果需要额外的水，水不溶解肥料单独灌溉
- 该策略的优点
  - 施用的肥料量与水的灌溉量无关
- 该策略的缺点
  - 在无肥水分灌溉的过程中，土壤溶液的肥料浓度降低

# 周施用策略

- 轻质土壤

- 幼树

- $N=60-100$ 磅/英亩/年 分成 10周 (6-10 磅/英亩/周)
    - $K_2O=60$  磅/英亩/年 分成 15周 (4 磅/英亩/周)

- 成年树

- $N=40-60$ 磅/英亩/年 分成 10周 (4-6 磅/英亩/周)
    - $K_2O=100$ 磅/英亩/年 分成 15周 (7 磅/英亩/周)

- 粘质土壤

- 幼树

- $N=40-60$ 磅/英亩/年 分成 10周 (4-6 磅/英亩/周)
    - $K_2O=60$ 磅/英亩/年 分成 15周 (4 磅/英亩/周)

- 成年树

- $N=20-40$ 磅/英亩/年 分成 10周 (2-4 磅/英亩/周)
    - $K_2O=80$ 磅/英亩/年 分成 15周 (5 磅/英亩/周)

# 头三年的滴灌施肥策略

- 液态氮肥
  - CAN 17:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$  (液体)
  - N=60-100 磅/英亩/年 分成10周或者6-10 磅/英亩/周
- 钾肥第二年开始施用
  - $\text{K}_2\text{O}$ =60 磅/英亩/年 分成 15周或者 4 磅/英亩/周
- 每周两次灌溉少量的水
  - 第一年 5 加仑/树/周
  - 第二年 10 加仑/树/周



# 灌溉施肥技术对**Empire, Mutsu**和**Delicious**生长和产量的影响

处理	枝梢 生长 yr. 1-3 (m)	枝梢 生长 yrs4-5 (m)	产量/ 树/ yr. 2-4 (kg)	产量/ 树/yr. 5-6 (kg)	平均 果实 大小 (g)
	(对照的%)				
未灌溉	100 b	100 b	100 b	100 b	100 b
滴灌	160 a	139 a	145 a	160 a	107 a
灌溉施肥	153 a	134 a	140 a	135 a	108 a

# 灌溉施肥的结论

- 灌溉施肥是苹果施用氮和钾肥的有效方法
- 灌溉施肥可促进早期树体的生长和提早结果
- 灌溉施肥有时候可使成年树增大果实，提高产量

# 控释肥料

不同 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$  比率的控释肥料已经由张民、姜远茂等博士在山东苹果园试验。这些控释肥料提供了适应树体养分需求的养分供应的有效方法，可提高养分施用的有效性，同时减少养分的淋失

# 增进土壤有机质

- 人畜粪和堆肥的施用
- 行内覆草和行间生草
- 覆盖作物例如豆科植物