

苹果树氮素供求关系与氮肥施用

程来亮，康奈尔大学园艺系

1. 氮素在苹果树生长和结果中的作用

氮素对苹果树的生长、发育，果实的产量和品质均有很重要的作用。很多田间和沙培的试验都证明了这点。在一个沙培的氮肥试验中，我们采用完全营养液，用灌溉施肥的方法，在整个生长季对中等负载量（6.5 个果/ cm² 树干横截面积）、五年生的‘嘎拉’/M. 26，提供了：3.0，10.0，20 或 40 克的氮肥（等于 8.3，25，50 或 100 磅/英亩）。试验结果表明，随着施氮量的增加，树冠中的长梢（> 5 cm）的比例和长度也增加了，使得树冠的总叶面积增加；而短枝（<5 cm）的总叶面积并没有变化。从萌芽到果实采收，施氮最多的树的净干物重的积累几乎是施氮最低的树的两倍。同时，分配到果实的干物重（收获指数）随着施氮量的增加是减少的。平均果重从 130 克增加到 180 克，这主要是由于果实的细胞数增加而导致的。随着施氮量的增加，果实可溶性固形物含量增加，但是果实的硬度有少量的降低。这些结果表明在这一试验所采用的氮素范围内，提高氮素的含量会提高树叶的功能，增加叶面积相对果实量的比例，促进果实细胞的分裂，从而提高果实的大小和可溶性固形物的含量。

在土壤有机质含量较高的果园中，土壤氮素的自然供应在整个夏季都会较高。如晚春施用大量氮肥，会使得树体的氮素含量达到过高的水平，从而导致营养生长过旺、果实着色差、果实可贮性降低。而在土壤有机质含量低的果园中，土壤自然供应的氮素低，树体营养生长弱、座果量低、果实小并易产生大小年。因为氮素对座果量和果实大小的作用，和它对果实着色、果肉硬度及储藏品质正好相反，所以对果园氮素的管理必须达到最优化以平衡这些作用，从而达到高产和优质。

2. 树体氮素的供求关系

在计划如何对果树施氮肥时，我们必须考虑苹果树氮素的供求关系。在生长季的早期，树冠的发育和果实的生长都需要大量的氮素；然而在果实发育的晚期，只需要基本的氮素供应就可以了。我们对沙培的六年生嘎拉/M. 26 的研究结果表明，整树的氮素总量从开花到新梢生长停长期间增长迅速，到果实收获期间仍会增长，但是速度会减缓（见图 1A）。从萌芽到果实收获，每树氮素的净增长量为 20 g，这等于每英亩 50 磅的氮素（3）。这些净增长全部集中在树体的新器官中（新梢，叶片和果实）（见图 1B）。梢叶和果实对氮素有不同的需求（见图 1B）。梢叶的总氮量从开花到新梢生长停长迅速增长，然后保持平衡直到果实收获；果实的状况正好相反，从开花到新梢生长停长氮素增长较缓，然后开始迅速增长直到采收。

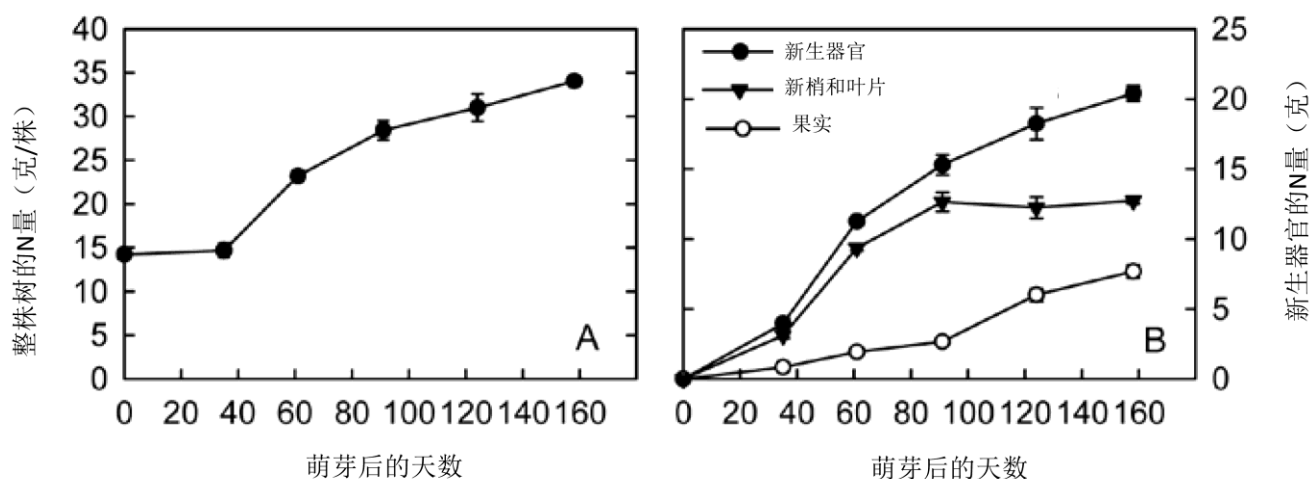


图 1A 和 1B: 六年生沙培‘嘎啦’ / M.26 果树整体的氮素含量 (1A) 和 新生部分的氮素含量 (1B)。六个数据点分别代表萌芽, 开花, 短枝叶生长结束, 长梢生长结束, 果实迅速扩增期和果实采收期。每一数据点有四个重复, 表示为均数 \pm 标准误。

苹果树内氮素有三个来源。第一个是树体自身在前一生长季积累的氮素, 这些氮素在生长季早期可以被直接利用。氮标记试验清晰地表明供应短枝生长的绝大部分氮素来自树体内储藏的氮(4)。充足的储藏氮会通过促进细胞分裂来促进短枝的生长和早期果实的发育。第二个氮素的来源是土壤有机质自然矿化过程产生的氮。由这个过程产生的氮素量是由土壤的有机质含量, 温度, 湿度和透气度决定的。对于生长在有机质丰富的土壤上的果树而言, 这是一个重要的氮素来源。第三个氮素来源是由施到土壤或叶片上的化肥提供的。

氮素的供求关系体现在果树的氮素含量上。在整个生长季节中, 比较理想的氮素变化状况是树木在生长季早期的氮素含量较高, 以促进树体叶面积的迅速增长和果实的早期发育; 随着时间的推移, 氮素的含量应逐渐降低以保证果实的质量和枝条的成熟。这是一个指导苹果果园氮素管理的基本原则。氮素管理最重要的是以对环境负责的方式将果树对氮素的要求和三个氮素的来源匹配起来。

3. 树体和果实的氮素水平

确定果树的氮素状况, 对于决定是否要对果树施用氮肥以及要施用多少是相当重要的。我们推荐用叶片诊断的方式以了解氮素及其它矿物质营养元素的含量。如果采样方式得当, 对结果解释准确, 叶片诊断可帮助设计有效施肥方案。苹果叶片诊断的氮素分析标准请见表一。

表一：苹果树标准叶氮含量（5）

果树类型	标准叶氮含量（%）
幼龄非结果果树	2.4 - 2.6
幼龄结果果树	2.2 - 2.4
成龄树（不耐藏品种）	1.8 - 2.2
成龄树（耐藏或加工品种）	2.0 - 2.4

树体的生长与其氮素的含量直接相关。我们希望幼龄果树能快速生长以扩大树冠面积，增加采光量，以促进早期结果。适合幼龄果树的最佳叶氮含量为 2.4 - 2.6%。随着树龄增长，对营养生长的要求降低，随之应降低叶片氮素的含量以促进果实的着色、果肉的硬度以及耐储性。

不同的品种在果实的着色、果肉的硬度以及储藏品质上的差别是另一个需要考量的因素。根据对氮素的需要不同，苹果大致上可以分为耐藏（硬）品种和不耐藏（软）品种两类。软品种包括：金帅（Golden Delicious），蜜脆（Honeycrisp），乔纳金（Jonagold），红玉（Jonathan），旭（McIntosh），陆奥（Mutsu），斯巴达（Spartan），以及其它早熟的品种。硬品种包括元帅（Delicious），富士（Fuji），帝国（Empire），嘎拉（Gala），艾达红（Idared），罗马（Rome），以及其它用来加工的苹果品种。

对叶片诊断的结果进行解释时必须谨慎，因为叶片成分的构成受到多种因素的影响，尤其是座果量和树势。叶片氮素的含量在小年通常要比大年低。这是因为小年里更多的营养生长“稀释”了叶片中氮素的含量。反言之，充满短枝而生长较少的树往往会造成氮素的积累，而使叶片的氮素含量过高。所以在对叶片诊断结果进行分析时，我们需要仔细考量树体的生长状况。

除了叶片的氮素含量，果实的氮素含量也需要考虑。叶片氮素含量的较小变化往往会带来果实氮素含量的较大变化。我们对‘嘎拉’的研究清晰地表明，叶片的氮含量与土壤供氮量成曲线关系，而果实的含氮量和土壤供氮量成直线关系（图 2）。随着供氮量由 22 磅每英亩增加到 262 磅每英亩，果实的含氮量增加了 10 倍（由 0.03% 到 0.31%），而叶片的含氮量仅增加了两倍（1.5% 到 3.0%）。

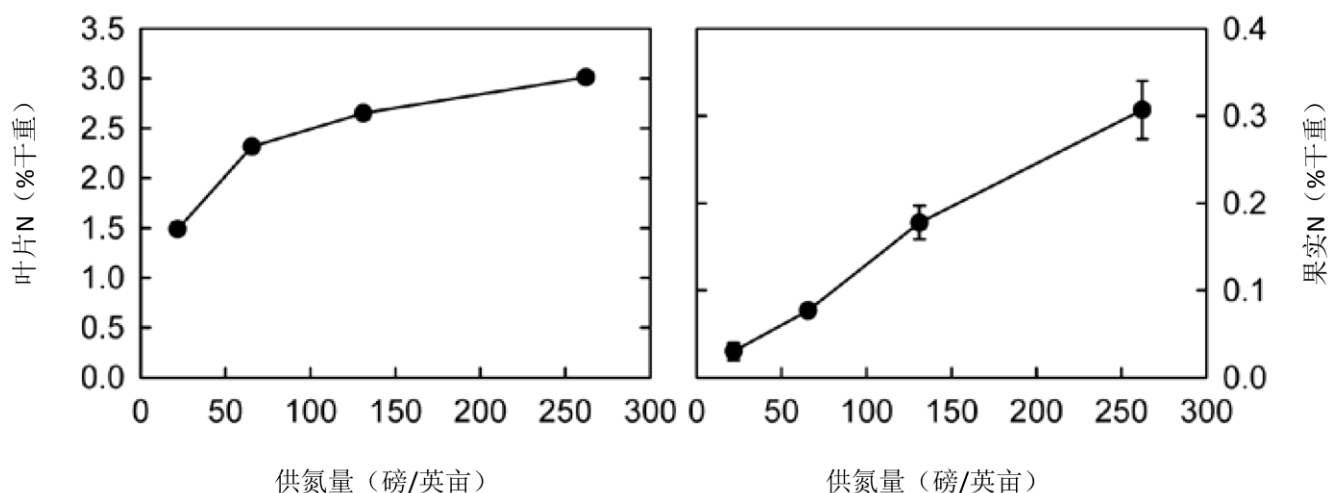


图2: 七年生‘嘎啦’/ M. 26 (沙培) 叶片和果实的氮素含量对氮肥的反应。用 Hoagland 营养液以灌溉施肥的方式提供了 21.8, 65.5, 131.1 或 262.2 磅/英亩的氮素。果树株行距为 1.05 x 3.3 米。每处理重复 5 次, 表示为均数 ± 标准误。

4. 施用氮肥的时间

什么是氮肥的最佳施用时间? 从原则上说, 可以是在生长季的任何时间当你发现氮素不足时。但是要达到最佳的肥效, 往往要考虑到果树对氮素的需求是如何随季节变化的: 即生长季的早期树冠的发展和果实的生长需要大量的氮素; 生长季晚期果实品质形成时, 只需要有最基本氮素供应即可。我们认为有两个时间段可用来进行土壤施氮: 第一个是从萌芽到新梢开始迅速生长时; 第二个是生长季的晚期, 当土壤氮肥不再影响果实品质时(在果实收获之前或刚刚结束之后)。从 2000 到 2002 年, 我们用 ^{15}N 标记的硝酸铵研究了氮肥的施用时间对氮素的吸收和果实的氮素含量的影响。我们发现, 在纽约州的生长条件下, 苹果树能够在萌芽和短枝生长结束之间吸收大量的氮素 (6)。在生长季的早期施氮的好处是果实的氮素含量在收获时会降到和对照组相似的水平, 从而不会对果实的品质有负面影响。在以上两个时间段 (萌芽到落花期和果实收获之前) 施氮肥符合果树对氮素的需求, 早期施氮直接被用来促进当季的梢叶生长和果实的发育; 晚期施氮被用来增加树体氮的储备, 以利于下一生长季果实和梢叶的生长。考虑到氮素在纽约州冬季流失的不确定性, 在萌芽和花落期间对土壤施氮恐怕是满足果树在生长季早期对氮素需求的最佳时间。

如果需要在每英亩施用超过 40 磅的氮素, 我们建议采用分开施用的方法: 即在萌芽 2 周时施一半, 在落花期或紧随其后施另一半。如果采用灌溉施肥, 施氮的时间应选在果树对氮素的需求量高时, 即在从开花到新梢生长结束期间。

对于离子交换量较低的土壤, 比如沙地或有机质含量较低的土壤, 或是果实品质对于氮素含量不是太敏感的品种, 在春季到夏季施用多次少量氮可能有较好的效果。

5. 施肥量

应该施多少氮肥呢？这个问题的答案取决于三个因素：

- 1) 果树对于氮素的需求。
- 2) 土壤中天然供应的氮素。
- 3) 果树对于所施的氮肥的利用效率。

高密度矮化果园的成龄树对氮素的年需求量大约为 50 - 80 磅/英亩。实际需求量往往随具体栽种位置的不同而不同，同时也要考虑座果量的差异（7）。由土壤的有机质自然矿化过程产生的氮素是由土壤的有机质含量、温度、湿度和透气度决定的。在少有耕作的果园，土壤年有机氮的矿化量不超过土壤全部有机氮含量的 1%（8）。当土壤的有机质含量为 3% 时，从土壤释放的氮素量大约是每年 50 到 70 磅。然而这其中只有一部分能够被果树根系吸收。假设这 50 到 70 磅中有 60% 被吸收，这将给果树提供 30 到 40 磅的氮素。这一供应量和果树对氮素的需求量之间的差异需要由化肥来提供。同样的，由化肥提供的氮素也不能完全被吸收。所以当决定使用多少氮肥时，其吸收率也要考虑进去。对于有机质含量高的土壤，土壤中的天然氮素可能已经能够满足果树的需求，这种情况下就不需要再施氮肥了。总体来说，对于纽约州和美国东北部果园的土壤而言，由化肥提供的氮素的量每年在 0 到 80 磅/英亩之间。如果氮肥的吸收率在 30% 到 40% 之间，会有 0 到 30 磅的氮素被果树吸收。一般而言，多施 10% 的氮肥，叶片的氮含量会提高 0.1%。如果氮是用灌溉施肥的方式提供的，则可以降低使用量，因为灌溉施肥的吸收效率要比土壤施肥的效率。由于每一果园的土壤情况独特，而且有关氮肥的田间试验也都具有地域性，调整氮肥施用量的最佳方案是根据叶片检测结果和树体的相关指标在自己的田间进行氮素施用量的试验。

6. 叶面施氮

除了土壤施氮外，叶面喷氮也可以帮助满足果树在生长季早期对氮素的需求或是改善果树在秋季收获后的氮素储备量。

如果头一年的叶片检测显示氮含量低于 2.2%，则在生长季的早期施叶面肥有助于座果和果实早期的生长。叶面氮肥可以延长有效授粉时间并促进细胞分裂，但应当选择较低的浓度，以防止烧伤生长早期的幼嫩叶片。一般而言，在开花前用 0.3% 到 0.4% 尿素溶液，在开花后可提高到 0.6% 到 0.7%。

在生长季的晚期叶面喷氮可以提高树体的氮的储藏水平，从而改善植株第二年的生长状况（9）。果实采后叶面喷施尿素对成龄苹果树的氮储水平的影响最先是由 Oland 报道的，随后有很多在苹果树上的相关试验（10）。采后叶面喷施尿素的效果决定于果树本身的氮素含量，本身氮含量低的树对尿素的反应要比含氮量高的树高（11）。似乎苹果树对于可以从叶片吸收的氮素有一个反馈调控。对于采后叶面喷氮的一个顾虑是在生长季晚期施氮肥可能会降低树的抗寒性，但我们在幼龄果树和成龄果树的试验表明这个担心是不必要的（12）。采后叶面喷氮时可以使用较高的浓度，因为生长季晚期的叶片不容易被烧伤。在文献中，可以看到高达 10% 的浓度，但是较常用的、被证明较安全的浓度是 3%。

参考文献

1. Cheng L, Xia G, Lakso AN, et al. How does nitrogen supply affect ‘Gala’ fruit size? *New York Fruit Quarterly*. 2007. 15(3): 3-5.
2. Xia G, Cheng L., Lakso AN, et al. Effects of nitrogen supply on source-sink balance and fruit size of ‘Gala’ apple trees. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 2009; 134(1): 126-133.
3. Cheng L, Raba R. Accumulation of macro- and micronutrients and nitrogen demand-supply relationship of ‘Gala’ /M.26 trees grown in sand culture. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 2009a; 134(1): 3-13.
4. Neilsen D, Millard P, Neilsen GH, et al. Sources of N for leaf growth in a high-density apple (*Malus domestica*) orchard irrigated with ammonium nitrate solution. *Tree Physiol*. 1997; 17: 733-739.
5. Stiles WC, Reid WS. Orchard nutrition management. *Cornell Cooperative Extension Bulletin* 219. 1991.
6. Cheng L, Schupp J. Nitrogen fertilization of apple orchards. *New York Fruit Quarterly*. 2004;12(1): 22-25.
7. Cheng L, Raba R. Nutrient Requirements of ‘Gala’ /M.26 Trees for High Yield and Quality. *New York Fruit Quarterly*. 2009b; 17(4), 5-10.
8. Lathwell DJ, Peech M. Interpretation of chemical soil tests. *Cornell University Agricultural Experiment Station Bulletin* 995. 1964.
9. Cheng L, Fuchigami LH. Growth of young apple trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *Tree Physiology*. 2002; 22: 1297-1303.
10. Oland K. Nitrogen feeding of apple trees by post-harvest urea sprays. *Nature*. 1960; 185: 857.
11. Cheng L, Dong S, Fuchigami LH. Urea uptake and nitrogen mobilization by apple leaves in relation to tree nitrogen status in autumn. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2002; 77: 13-18.
12. Schupp J, Cheng L, Stiles WC, et al. Mineral nutrition as a factor in cold tolerance of apple trees. *New York Fruit Quarterly*. 2001; 9(3): 17-20.

翻译：杨晓华博士，康奈尔大学园艺系 校对：程来亮 教授，康奈尔大学园艺系