

果类蔬菜水溶性肥料配方选择与应用

刘朋朋 严正娟 任珊露 陈 清*

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要: 水溶性肥料具有水溶性好、肥效快、吸收率高等特点, 在根系浅、养分需求强度大的果类蔬菜生产中的应用广泛。本文结合果类蔬菜氮、磷、钾等养分吸收比例特征、有机肥供应以及土壤养分积累特点, 提出以“作物带走比例”为原则的大配方, 并依据土壤肥力特征进行配方调整, 制定适合的水溶性肥料追肥配方。针对 N 在土壤中比较活跃的特征, 通过以 N 素供应为目标推荐, 采用固定 P、K 配比的推荐思路, 与灌溉相结合, 实现“少量多次”的水肥同步供应, 满足作物的生长需求。

关键词: 果类蔬菜; 水溶性肥料; 配方选择; 施用推荐

中图分类号: S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6346 (2011) 22/24-0125-05

2009 年我国蔬菜种植面积和产量分别为 1 841.4 万 hm^2 和 61 823.8 万 t, 其中果类蔬菜 (番茄、茄子、辣椒和黄瓜) 的种植面积和产量分别占总量的 26% 和 21% (中华人民共和国农业部, 2010), 在我国集约化蔬菜生产中占有非常重要的地位。果类蔬菜具有根系浅、养分需求强度大的特点, 需要进行频繁的水肥管理。由于水溶性肥料具有可以完全迅速地溶于水、使用方法灵活、作物吸收效率高的优点 (张子鹏和陈仕军, 2009; 伍映辉, 2009), 在生产中的应用越来越多。目前, 集约化果类蔬菜生产中典型的养分投入模式为“基施有机肥+追施水溶肥”。自 2007 年以来, 国内外水溶性肥料得到快速发展, 目前投入生产用的水溶性肥料很多, 例如针对果类蔬菜的水溶性肥料配方有 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$): 20-20-20、17-9-34、14-4-40、13-40-13、19-19-18 等, 但很多产品配方盲目, 没有结合作物的生长特点和区域特征, 存在 P 含量偏高、K 浓度偏低等问题, 并且生产中普遍存在过量施用的现象。不合理的配方和过量施用, 不仅影响蔬菜产量和品质, 浪费资源, 同时造成土壤养分积累、比例失调、次生盐渍化和地下水硝态氮污染等一系列环境问题 (王道涵, 2001; Chen et al., 2004; 张彦才 等, 2005; Zhu et al., 2005; 周建斌等, 2006; 何飞飞, 2006; 黄化刚 等, 2007; 刘兆辉 等, 2008)。因此, 在果类蔬菜生产中, 根据作物和土壤特性, 选用合理的水溶性肥料配方, 并且结合优化的施用量和施用方法, 对于果类蔬菜的优质、高产、高效意义重大。

1 果类蔬菜专用水溶性肥料配方的选择

影响水溶性肥料有效性的关键因素主要包括以下几个方面: ① 根层养分浓度。应保持适宜的养分供应浓度, 浓度过高容易造成资源浪费和损失, 浓度过低则容易导致作物减产、品质变劣, 影响效益。对于果类蔬菜而言, 应在考虑有机肥及土壤养分矿化的基础上, 进行化肥投入

收稿日期: 2011-07-24; 接受日期: 2011-09-20

基金项目: 现代农业产业技术体系北京市果类蔬菜创新团队项目, 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103003)

作者简介: 刘朋朋, 男, 硕士研究生, 专业方向: 蔬菜养分管理, E-mail: hzaulpp@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 陈清, 男, 教授, 博士生导师, 专业方向: 经济作物养分管理与土壤质量研究, E-mail: qchen@cau.edu.cn

合理调控, 将根层养分浓度调控在适宜范围之内。并且不同作物对不同营养元素的供应浓度的需求不同, 这取决于作物的 N-P-K-Ca-Mg 吸收比例。② 根层土壤养分相对比例。土壤溶液中的离子易发生拮抗/竞争抑制, 应保证养分平衡供应, 维持一个比较合理的根层土壤养分相对比例。过量 NH_4^+ 供应易导致果类蔬菜 K^+ 、 Ca^{2+} 缺乏; 过量 K^+ 供应易导致 Mg^{2+} 缺乏; 过量 PO_4^{3-} 供应易导致 Zn^{2+} 缺乏。③ 根层土壤养分形态。氮素形态调控在水溶性肥料配方选择中至关重要, 不同形态的氮素淋失风险、作物吸收性、是否适合反季节作物吸收利用等均表现不同 (表 1)。因此, 针对不同果类蔬菜, 应选择合适的养分形态, 才能保证作物对养分的高效吸收。由此可以看出, 作物营养特性和土壤养分供应状况是决定水溶性肥料配方的两大主导因素。确定水溶性肥料配方的总原则是以作物的养分吸收比例作为依据, 再根据土壤养分供应状况进行调整。由于在果类蔬菜生产中, 基肥中投入的大量有机肥, 基本能够满足作物前期生长的需要, 因此主要针对果类蔬菜后期的生长特点, 制定相应的水溶性肥料配方用于追肥, 具体原则如下。

表 1 不同形态氮素在土壤中的淋失风险及作物的吸收特性

氮素形态	淋失风险	作物吸收性	是否适合反季节生产
铵态氮	低	好	一般
硝态氮	高	好	是
酰胺态氮	中	差	否

1.1 根据作物氮、磷、钾养分吸收比例, 确定水溶性肥料的初始配方

据已有研究表明, 果类蔬菜养分吸收的共同特点是对氮、钾的吸收量高, 磷的吸收量低, 氮、磷、钾的吸收比例约为 1 : (0.3 ~ 0.6) : (1.4 ~ 1.5), 不同种类蔬菜的养分需求不同, 在此基础上, 结合水溶性肥料中 N、 P_2O_5 、 K_2O 的百分含量总和为 50% 的标准, 计算得到适合于果类蔬菜生产的水溶性肥料的初始配方 (表 2)。

表 2 果类蔬菜 N- P_2O_5 - K_2O 养分吸收比例及其初始配方

蔬菜种类	产量/t · hm ⁻²	植株吸收养分比例 (N- P_2O_5 - K_2O)	初始配方 ¹⁾ (N- P_2O_5 - K_2O)
番茄	80 ~ 120	1.0-0.4-1.4 (刘军 等, 2004; 龚玉琴 等, 2008)	17-7-26
茄子	90 ~ 120	1.0-0.4-1.4 (宋亚平, 1987; 郭熙盛 等, 2003; 龚玉琴 等, 2008)	18-6-26
黄瓜	120 ~ 180	1.0-0.6-1.5 (于淑芳 等, 2000; 龚玉琴 等, 2008; 燕飞, 2009)	16-9-25
甜椒	70 ~ 90	1.0-0.3-1.5 (张文 等, 2011)	18-5-27

注: 1) 国家水溶性肥料标准规定 N、 P_2O_5 、 K_2O 的百分含量之和不少于 50%。

1.2 根据菜田土壤肥力/当季有机肥投入特点, 修正水溶性肥料的初始配方

不同菜田的土壤氮、磷、钾养分含量水平差异很大, 老菜田的无机氮、磷、钾有效含量最高, 均达到了极高的水平; 与设施菜田相比, 露地菜田的土壤肥力虽然相对较低, 但仍处于较高水平, 所以针对菜田种类以及蔬菜种植年限的不同 (表 3), 需要有针对性地给出不同的配方。

表 3 不同菜田土壤氮磷钾养分含量水平

地块类型	无机氮/kg · hm ⁻²	评价	有效磷/mg · kg ⁻¹	评价	有效钾/mg · kg ⁻¹	评价
露地	100 ~ 250	中等	177	较高	140	中等
设施老菜田	350 ~ 400	极高	869	极高	580	极高
设施新菜田	150 ~ 230	较高	287	较高	373	较高

注: 表中数据为 0 ~ 30 cm 土层养分含量; 老菜田为种植 9 ~ 12 a 的地块, 新菜田为种植 3 ~ 4 a 的地块。

以番茄为例 (表 4), 根据作物带走量确定番茄 N- P_2O_5 - K_2O 的初始配方为 17-7-26。露地菜田磷含量较高时, 为了避免菜田土壤磷的过量积累, 追肥配方就需要考虑适当降低磷的比例, 可以把配方调整为 20-5-25。设施老菜田的氮、磷、钾养分含量均非常高, 因此可以适当减少

追肥次数，仅在开花期追施高磷水溶性肥料，如 16-20-14；另外需要预防老菜田中番茄缺钙、缺镁现象的发生，在追肥配方中可以增加微量元素（钙/镁）的成分；而相对于设施老菜田而言，设施新菜田的土壤肥力较差，在施用大量有机肥的情况下，要注意防止土壤磷的积累，减少配方中磷的比例，适当增加氮和钾的比例，改善土壤养分水平，培肥地力。

表 4 不同时期番茄水溶性肥料配方的选择

地块类型	根层土壤肥力特点	有机肥	定植前基肥配方 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	定植—开花追肥配方 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	开花—收获追肥配方 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
露地菜田	氮、磷、钾养分水平中等	有机肥施用一般	16-20-14	16-20-14	17-7-26
	氮中等、磷较高、钾中等	大量施用有机肥，如鸡粪	18-12-20	18-12-20	20-5-25
设施新菜田	氮、磷、钾养分水平中等	无要求	16-20-14	16-20-14	17-7-26
	氮、磷、钾养分水平较高	大量施用有机肥，如鸡粪	不施	16-20-14	20-5-25
设施老菜田	氮、磷、钾养分水平极高	无要求	不施	16-20-14	25-5-20-5 CaO/MgO

注：在开花前期补充钙、镁。

1.3 重点考虑钙、镁、硼等中微量元素的添加

菜田大量施肥，导致土壤酸化现象比较普遍，另外，有机肥中的微量元素含量丰富（杨玉爱等，1990；陈琼贤等，1997），使得土壤中有效态铁、锰、铜、锌等含量处于较高水平，可以不考虑补充添加；而集约化果类蔬菜生产中钙、镁、硼等缺乏的可能性较大，一般在配方中应重点考虑（孟利芬，2010）。

1.4 根据老菜田土壤连作障碍情况，选用适宜配比的氨基酸/腐殖酸类功能性水溶肥

随着菜田种植年限的增加，蔬菜的生理性病害逐渐加重，虽然施肥增加，但是蔬菜的产量和品质并没有增加和改善，这主要是由于保护地栽培蔬菜长期连作引起自毒现象，出现了土壤连作障碍，主要表现有：土壤盐渍化、土壤酸化、土壤结构破坏、土传病虫害增多、土壤养分比例失调、蔬菜自毒等。解决以上问题的关键是要改善土壤环境，增加土壤微生物区系的多样性。氨基酸/腐殖酸含有多种活性基团，这些基团使腐殖酸肥料具有多种功能，可以改良土壤、提供大中微量营养元素、调节作物生长、促进根系呼吸、提高作物抗逆、抗旱、抗病性能。针对出现连作障碍的老菜田，推荐选用适宜配比的氨基酸/腐殖酸类功能性水溶肥。

2 水溶性肥料的推荐施用量及施用方法

选择了合理的施肥配方，还必须确定合理的用量，并采用合理的施肥方式，才能适量适时提供作物生长所需的养分，提高肥料的利用效率。以番茄为例，推荐施用水溶性肥料，必须考虑种植地块肥力水平、番茄的目标养分吸收量、灌溉类型，同时还要考虑有机、无机肥料的养分配比和灌溉模式等多个不同因素。

2.1 推荐施用量

在果类蔬菜生产中对于氮素的推荐，采用基于氮素供应目标值确定施用量的推荐策略。

氮肥推荐量=氮素供应目标值-播前土壤无机氮含量

式中氮素供应目标值根据不同茬口产量确定，种植前采样测定土壤无机氮含量。如果没有条件测定播前土壤的无机氮含量，则可以按照表 5 的一般范围，根据土壤肥力高低水平来估算该值。如果施用有机肥，则通过计算有机肥中速效氮含量，用推荐施氮量减去有机肥中氮含量的 30%；若在基施有机肥后大水灌溉，会

表 5 不同肥力水平的土壤无机氮含量

土壤肥力水平	播前土壤无机氮/kg·hm ⁻²
高	90 ~ 120
中	60 ~ 90
低	30 ~ 60

大量淋洗有机肥中的有效养分, 则用推荐施氮量减去有机肥中氮含量的 20%, 作为最后推荐施肥量。

对于磷、钾的推荐, 则采用根据土壤肥力总量控制的方式 (表 6), 在选定了水性溶肥料配方的基础上, 考虑到氮在土壤中非常活跃, 而磷、钾在土壤中比较稳定的特点, 采用以氮定磷、钾的原则, 确定水溶性肥料的用量。

表 6 不同土壤有效磷/钾含量菜田的 P_2O_5/K_2O 推荐肥料施用量

土壤有效磷/ $mg \cdot kg^{-1}$		土壤有效钾/ $mg \cdot kg^{-1}$	地力分级	整个生育期相应的 P_2O_5 或 K_2O 推荐施用量
露地	设施			
0~20	0~50	0~80	低	作物带走量的 1.5~2.0 倍
20~60	50~120	80~160	中	作物带走量的 1.0~1.2 倍
>60	>120	>160	高	作物带走量的 0.8 倍

注: 表中数据来源于陈清和张福锁 (2006)。

2.2 施用时期

2.2.1 根据土壤质地实现“少量多次” 一般情况下, 蔬菜的水肥管理采用的是一水一肥的方式, 不同质地的土壤对水分的保持能力不同。粘土/粘壤土持水能力较强, 灌水施肥次数最少, 一般每 3~6 个月施肥 6~8 次; 砂土的水分和养分渗漏比较强烈, 土壤和植物容易出现缺水缺肥的现象, 需要少量多次地灌水施肥, 才能维持土壤肥力水平, 一般每 3~6 个月施肥 18 次以上; 壤土和砂壤土的土壤肥力一般较高, 灌水施肥次数分别为每 3~6 个月 9~12 次和 12~18 次。

2.2.2 根据不同茬口作物干物质累积特点进行分配 不同生长季节的不同作物的养分吸收规律不同, 冬春茬设施番茄在 4~5 月的养分吸收量占作物养分吸收总量的 60%左右, 推荐追肥应在 4~5 月集中施用, 一般每隔 7~8 d 施用 1 次; 秋冬茬设施番茄在 10~11 月的养分吸收量占总吸收量的 70%左右, 追肥应主要集中在 10~11 月施用, 一般每隔 7~10 d 追肥 1 次, 每次追肥量以含氮 60~75 $kg \cdot hm^{-2}$ 为宜。整个追肥过程实行总量控制的原则, 以氮调控磷、钾的用量, 根据作物氮、磷、钾吸收特点, 选择配比合适的水溶性肥料。

同时, 要注意不同茬口影响氮肥吸收利用的因素 (主要为光照和温度): 露地番茄整个生育期的光照、温度条件均较好; 设施秋冬茬番茄到生长后期, 光照条件逐渐变差, 温度逐渐降低, 这时候要注意增加养分的供应; 设施冬春茬番茄生长后期光照条件逐渐转好, 气温逐渐升高, 土壤矿化强烈, 来自土壤矿化的养分增加, 这时候可以适当减少肥料的施用量。

2.3 施肥方法

在施肥方法上, 水溶性肥料应与滴灌相结合, 实行水肥一体化, 可以很大程度地提高作物的产量和减少水肥浪费, 在选择滴灌施肥中应遵循以下基本原则: ① 浓度要控制。为了避免肥液浓度过高损伤作物根系, 灌溉水中的肥料浓度不应超过 5%。虽然不同作物的耐肥性、使用的肥料和灌溉系统特性各有不同, 但为了确保不发生问题, 不能超过这个上限。一般来说, 灌溉水中的肥料浓度应当维持在 1%~2%。② 考虑肥料溶解性。应用于滴灌的水溶性肥料主要有固体肥料和液体肥料两种, 通过灌溉系统施用固体肥料, 必须先将固体肥料溶解在水中。有些肥料水溶性受温度的影响很大, 与其他肥料混用可能会增加或者降低肥料的溶解性。自己进行颗粒肥料溶液配制的农户, 为了确保肥料在灌溉管线中不发生沉淀, 少量肥料溶液应当先按比例随灌溉水进行试验。如果发生沉淀, 则应当停止在灌溉施肥中使用该肥料。与固体肥料相比, 液体肥料具有很多优点: 液体肥料可以通过滴灌、喷灌系统进行喷施, 也可以和除草剂共同进行喷洒; 液体肥料是微量元素的理想形态, 通过滴灌可以准确地将液体肥料中的微量元素

送到指定位置, 提高肥料利用率; 液体肥料可以迅速被植物根系吸收, 使植物对养分更加高效的利用。

3 小结

在目前果类蔬菜生产中, 由于滥用和盲目大量施用化肥, 造成磷素的积累和浪费。水溶性肥料配方需要同时兼顾作物养分吸收和土壤养分供应特征, 在施用数量上进行控制, 以提高肥料利用效率, 降低环境风险。其肥效的关键是调控根层土壤保持适宜的养分浓度、比例和形态, 并且与灌溉结合实现根系与水肥空间的耦合。施用上, 采用以氮定量的方式, 并实现“少量多次”追肥。水溶性肥料具有广阔的应用前景, 尤其是在果类蔬菜等经济效益较高的作物体系中, 但是其推广要求更加精细和系统的农化技术服务。

参考文献

- 陈清, 张福锁. 2006. 蔬菜养分资源综合管理理论与实践. 北京: 中国农业大学出版社.
- 陈琼贤, 刘国坚, 段炳源, 陈丽萍. 1997. 有机肥料和无机肥料对土壤微量元素含量的影响. 热带亚热带土壤科学, 6 (4): 235-238.
- 龚玉琴, 侯晓宁, 白锦红, 马梅. 2008. 冬春茬设施果菜氮磷钾吸收量研究. 宁夏农林科技, (6): 25-26.
- 郭熙盛, 叶舒娅, 王文军, 吴礼树. 2003. 温室大棚土壤上钾肥品种与用量对茄子养分吸收的影响. 华中农业大学学报, 22 (4): 355-359.
- 何飞飞. 2006. 设施番茄周年生产体系中的氮素优化及环境效应分析 [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学.
- 黄化刚, 张锡洲, 李廷轩, 余海英. 2007. 典型设施栽培地区养分平衡及其环境风险. 农业环境科学学报, 26 (2): 676-682.
- 刘军, 高丽红, 黄延楠. 2004. 日光温室不同温光环境下番茄对氮磷钾吸收规律的研究. 中国农业大学学报, 9 (2): 27-30.
- 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 郑福丽, 王梅, 林海涛. 2008. 设施菜地土壤养分演变规律及对地下水威胁的研究. 土壤通报, 39 (2): 293-298.
- 孟利芬, 陈清, 陈小燕, 肖艳. 2010. 集约化蔬菜生产的中微量元素施用原则与方法. 中国蔬菜, (16): 15-20.
- 宋亚平. 1987. 盆栽茄子干物质积累与养分吸收规律的研究. 东北农学院学报, 18 (3): 219-225.
- 王道涵. 2001. 蔬菜保护地土壤磷素特征研究 [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
- 伍映辉. 2009. 茄果类蔬菜如何施肥获得高产. 安徽农业科学, 15 (20): 89-90.
- 燕飞. 2009. 不同施肥处理对设施黄瓜养分吸收影响的研究 [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- 杨玉爱, 何念祖, 叶正钱. 1990. 有机肥料对土壤锌、锰有效性的影响. 土壤学报, 27 (2): 195-201.
- 于淑芳, 高贤彪, 卢丽萍. 2000. 高效节能型日光温室黄瓜养分的吸收规律. 中国蔬菜, (5): 10-11.
- 张文, 谢良商, 吉清妹, 符传良, 潘顺秋, 刘国彪. 2011. 辣椒氮、磷、钾、镁肥效应研究. 农学学报, (3): 37-40.
- 张彦才, 李巧云, 翟彩霞, 陈丽莉, 吴永山, 康富忠. 2005. 河北省大棚蔬菜施肥状况分析与评价. 河北农业科学, 9 (3): 61-67.
- 张子鹏, 陈仕军. 2009. 水肥一体化滴灌技术在大田蔬菜生产上的应用初报. 广东农业科学, (6): 89-90.
- 中华人民共和国农业部. 2010. 2009 中国农业统计资料. 北京: 中国农业出版社.
- 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 许安民, 冯武焕. 2006. 西安市郊区日光温室大棚番茄施肥现状及土壤养分累积特性. 土壤通报, 37 (2): 87-90.
- Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, Christie P, Li X L, Horlacher D, Liebig H P. 2004. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 69: 51-58.
- Zhu J H, Li X L, Christie P, Li J L. 2005. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilizer hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 111: 70-80.