

加工番茄氮肥用量与氮营养状况诊断研究

汤明尧^{1,2}, 张炎^{1,3*}, 胡伟¹, 胡国智^{1,3}, 李青军^{1,3}

- (1. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091;
2. 新疆维吾尔自治区土壤肥料工作站, 新疆 乌鲁木齐 830006;
3. 农业部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要: 通过设置 N0 (不施氮)、N1 (150 kg/hm²)、N2 (300 kg/hm²) 和 N3 (450 kg/hm²) 4 个氮水平的田间小区试验, 利用反射仪法对加工番茄新功能叶的叶柄进行硝酸盐测定, 并测定地上部分生物量与经济产量, 研究叶柄硝酸盐浓度与产量、叶全氮量、植株全氮量、地上部分干物质质量等的相关性, 建立加工番茄叶柄硝酸盐诊断追肥模型。结果表明, 优化施氮处理 (N2) 经济产量为 95 259 kg/hm², 较不施氮处理 (N0) 增产 50 812 kg/hm², 增收 14 988 元/hm²。各处理加工番茄叶柄硝酸盐浓度随生育期进展呈一致的变化趋势, 且叶柄硝酸盐含量在一定范围内随施氮量的增加而增大。加工番茄不同生育时期叶柄硝酸盐浓度与产量均呈显著相关性。经过校验, 加工番茄以盛果前期为氮营养诊断时期较为合理, 其临界值为 4 182 mg/L。同时, 初步建立了植株硝酸盐诊断追肥模型。

关键词: 加工番茄; 氮肥; 叶柄硝酸盐; 追肥模型

中图分类号: S143.1; S641.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2015) 04-0082-06

氮素是公认的对农作物产量影响最大的营养元素。在氮素不足时, 番茄增施氮肥具有显著的增产效果, 适量施氮比不施氮可增产 3 倍以上^[1-2]。但是, 在我国氮肥的利用率低, 一般在 28% ~ 41% 之间^[3], 较发达国家低约 20 个百分点。因此, 开展加工番茄氮肥合理施用量与氮营养状况诊断研究, 对提高氮肥利用率、减轻因过量施氮对环境造成的负面影响、农民节支增收等具有重要的意义。由于植株特定组织中养分浓度与产量之间具有相关性, 测定植株特定组织养分浓度能够直接地反映作物的生长状况, 而且在不同的气候条件下得到的临界值相近, 因此, 以植株养分浓度来指导氮肥施用被学者广泛使用^[4-6]。目前氮素营养诊断采用的指标主要有植株全氮含量、组织汁液含氮量、地上部吸氮量、植株叶柄硝酸盐、叶片叶绿素含量等。其中, 植株全氮含量可以较好地反映作物氮营养, 与作物产量有很好的相关性^[7], 是一个可信的诊断指标。

但由于植株全氮分析操作十分繁琐, 且工作量大, 不能及时得出结果, 难以在生产中推广应用。近年来更多研究者采用硝酸盐快速测试进行氮素营养诊断及推荐施肥, 我国硝酸盐营养诊断也已成功地应用于小麦、玉米和棉花等作物的推荐施肥中^[8-9]。但对于新疆特有的加工番茄硝酸盐氮营养诊断方法的研究尚未见报道。本文通过设置不同供氮量的处理进行田间小区试验, 利用反射仪法对新功能叶的叶柄进行硝酸盐测定, 并测定地上部分生物量、经济产量与吸氮量, 研究加工番茄氮肥合理用量与硝酸盐氮营养诊断技术, 建立加工番茄叶柄硝酸盐诊断追肥模型。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2008 年在新疆农业科学院玛纳斯实验站 (44.290° N, 86.251° E) 实施, 土壤类型为灌耕灰漠土, 土壤耕层基本理化性状见表 1。供试加工番茄品种立原八号。

试验设 N0、N1、N2、N3, 4 个处理, 3 次重复, N2 处理为据 ASI 法测试结果的推荐施肥, 各处理具体的施肥量见表 2。磷肥与微肥作为基肥 (4 月 21 日) 一次施入; 氮肥为基肥施入 20%, 35%

收稿日期: 2014-07-16; 最后修订日期: 2014-10-12

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 项目 (BFDP-Xinjiang-2007/2008); 中国科学院科技支农工程项目。

作者简介: 汤明尧 (1982-), 男, 山东东明人, 农艺师, 硕士, 主要从事作物营养与施肥研究。E-mail: 78291308@qq.com。

通讯作者: 张炎, E-mail: yanzhangyz@sohu.com。

表 1 ASI 法测定 0~20 cm 土层供试土壤基本农化性状

有机质 (%)	铵态氮	硝态氮	有效磷 (P)	速效钾 (K)	有效铁	有效锰	有效锌	pH 值
0.5	2.6	23.1	24.8	163.7	12.5	5.6	1.6	8.8

表 2 各处理总施肥量 (kg/hm²)

处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	FeSO ₄	MnSO ₄	ZnSO ₄
N0	0	120	105	40.5	15	6
N1	150	120	105	40.5	15	6
N2	300	120	105	40.5	15	6
N3	450	120	105	40.5	15	6

作始果肥 (第一穗果直径 2 cm 时, 6 月 29 日), 25% 在第 1 次摘果后 (8 月 1 日) 施入, 20% 在第 2 次摘果后 (8 月 18 日) 施入。钾肥为基肥施入 30%, 始果肥施入 30%, 第 1 次摘果后施入 40%。小区面积: 3.6 m × 9.25 m = 33.3 m², 田间随机区组排列, 4 月 22 日播种 (株距 40 cm, 行距 55 cm), 5 月 2 日出苗。田间管理同当地常规管理, 灌溉为小区沟灌, 在灌水前开沟追肥。

1.2 分析测定方法

1.2.1 叶柄硝酸盐浓度的测定

分别在出苗后 40 d (苗期)、57 d (初花期)、69 d (盛果前期)、91 d (盛果期)、112 d (成熟期), 采各小区长势均一的番茄植株新功能叶 (距顶端第 4 片叶)。采样时间为 10:00 ~ 12:00 之间, 每个小区取 10 枚叶片, 编号后放入封口袋, 尽快用反射仪测定叶柄的硝酸盐浓度。

1.2.2 产量测定

每小区都划专门测产区, 盛果期选代表性植株 12 株, 调查记录有效果实个数、果实大小 (50 个

果称重, 求平均单果重)、种植密度, 从而得到相应产量。并在以后采摘中分小区记录实际番茄收获量, 以验证测产结果。

2 结果与分析

2.1 氮肥对加工番茄经济产量与收益的影响

施氮对加工番茄经济产量及收益的影响见表 3。加工番茄在施用磷钾肥的基础上, 施用氮肥可以显著提高经济产量。各施氮处理经济产量均显著高于不施氮处理, N1、N2、N3 施氮处理比 N0 不施氮处理的经济产量分别增加 25 022、50 812、49 440 kg/hm², 增产率分别为 56.3%、114.3%、111.2%, 施氮可以大幅度提高加工番茄的经济产量。从肥料增产效益来看, 在施氮量 300 kg/hm² (N2) 时, 每千克氮增产 169.4 kg。但过量施氮又会使增产效益下降, 施氮量为 450 kg/hm² (N3) 时, 增产效益仅为 109.9 kg/kg。在本试验条件下, 施氮肥增产增收效果显著, 优化施氮处理 (N2) 经济产量为 95 259 kg/hm², 较不施氮处理 (N0) 增产 50 812 kg/hm², 增收 14 988 元/hm²。本试验条件下, 氮肥增产增收效果, 验证了前人关于氮素是对产量影响最大的营养元素的结论。在本试验条件下, 氮之所以能表现出如此巨大的增产增收能力, 除了因氮素本身的特性外, 还可能有以下两点原因: 一, 试验地土壤肥力水平较低, 耕层土壤氮素本底值偏低, 特别是铵态氮仅 2.6 mg/L; 二, 本试验加工番茄的品种为优良杂交品种, 对养分需求量大。

表 3 施氮对加工番茄经济产量和收益的影响

处理	经济产量 (kg/hm ²)	增产量 (kg/hm ²)	增产率 (%)	氮肥增产效益 (kg/kg)	产值	肥料成本	纯收益
					(元/hm ²)		
N0	44 447 c	—	—	—	14 223	1 908	12 315
N1	69 469 b	25 022	56.3	166.8	22 230	2 544	19 686
N2	95 259 a	50 812	114.3	169.4	30 483	3 180	27 303
N3	93 887 a	49 440	111.2	109.9	30 044	3 816	26 228

注: 同列内不同字母表示差异显著 (LSD 检验, P < 0.05)。加工番茄 0.32 元/kg, 氮肥 4.24 元/kg。

由各小区经济产量与施氮量模拟出的加工番茄在施磷钾肥基础上的氮肥肥效效应方程为:

$$Y = 43\ 050 + 248.04 N - 0.293\ 27 N^2 \quad (R^2 = 0.832\ 6^{**})$$

根据氮肥的肥效效应方程和 2008 年当地加工番茄收购价 0.32 元/kg, 氮肥 4.24 元/kg, 得到经济施氮量、最高产量施氮量分别为 400、423 kg/hm², 经济产量、最高产量分别为 95 347、95 496 kg/hm²。

2.2 加工番茄叶柄硝酸盐氮营养诊断研究

2.2.1 叶柄硝酸盐浓度的变化规律

各处理叶柄硝酸盐浓度随生育期都呈相似的变化趋势, 即苗期到花期增大, 花期达到顶峰, 然后随生育期推进而下降, 后期降到较低水平, 并趋于稳定 (图 1)。这与 Elliott 等^[10] 研究得到春小麦茎基部的临界硝酸盐浓度随着植株的生长逐渐降低的结论相一致。叶柄硝酸盐变化趋势与地上部分生物量积累趋势存在一定相关性, 且提前表现, 这为以测叶柄硝酸盐浓度为氮营养诊断的方法提供了科学依据。

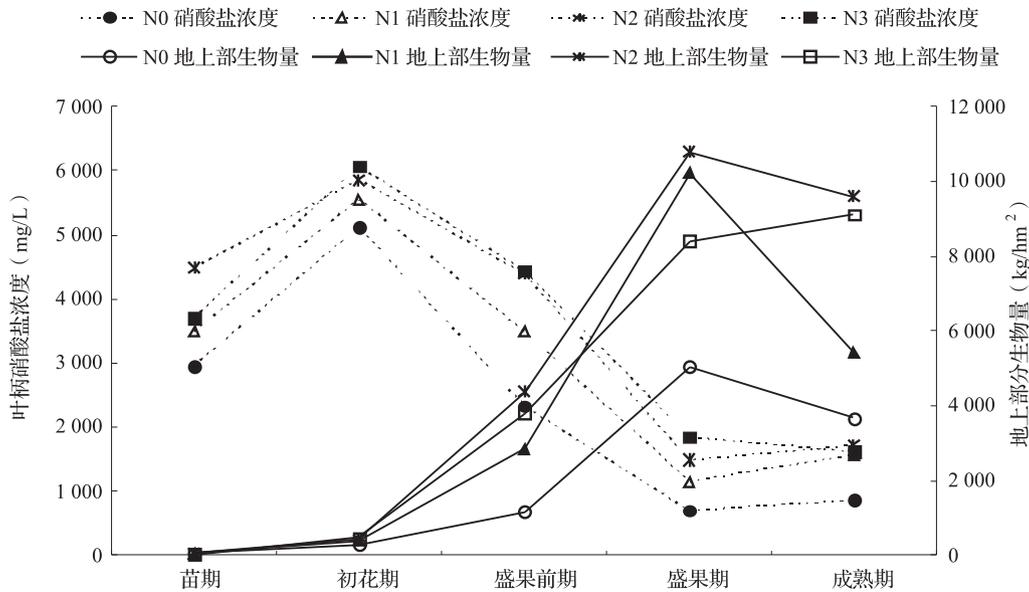


图 1 各处理叶柄硝酸盐浓度及地上部分生物量变化趋势

叶柄硝酸盐含量在一定范围内随施氮量的增加而增大, 表现为 $N0 < N1 < N2$, 但过量施氮对增加叶柄硝酸盐含量并不明显。这与相关研究^[11], 当供氮超过作物需求时硝酸盐的积累相对较多, 硝态氮也比全氮有较大幅度增加的结果并不一致, 可能是由于本试验土壤氮素本底值偏低, 高氮处理的施肥量没有超过作物的需求所致。

2.2.2 加工番茄不同生育时期叶柄硝酸盐浓度与经济产量的相关性

加工番茄叶柄硝酸盐浓度与经济产量之间的关系见图 2。一定范围内, 加工番茄经济产量随着叶柄硝酸盐浓度增大而增加, 当叶柄硝酸盐浓度积累达到一定程度后, 产量会略有下降。

对除成熟期外的 4 个生育期叶柄硝酸盐浓度与产量进行相关性分析。4 个生育期新功能叶的叶柄硝酸盐浓度与产量的关系都可以用二次曲线进行拟合 (盛果前期, 拟合的二次曲线, 二次项的系数为 0, 即为直线), 并都达到了极显著水平。加工

番茄新功能叶的叶柄硝酸盐浓度与产量之间的极显著性回归关系, 为氮素定量化诊断追肥提供了必要依据。

在苗期、初花期、盛果期拟合得到的二次曲线均为开口向下的抛物线。也就是说, 硝酸盐积累到一定程度后, 经济产量呈下降趋势, 而叶柄硝酸盐积累又与施氮量成正相关性, 所以在苗期、初花期、盛果期都应对施氮量加以合理控制, 既确保加工番茄氮素供应充足, 又不会因为过量施氮造成减产和浪费。盛果前期叶柄硝酸盐浓度与产量呈线性正相关性, 可能是由于加工番茄此时正处在最旺盛生长期, 对氮需要量大, 过量施氮处理并没有导致氮供应过剩。

2.2.3 加工番茄营养诊断时期及临界值的确定

确定临界值是氮素营养诊断的关键, 临界值是指作物产量或生物量明显下降时植株体内的养分浓度值。一般以最高产量减少 5%~10% 时的养分浓度值作为临界值, 通常情况下, 养分临界值应略高于

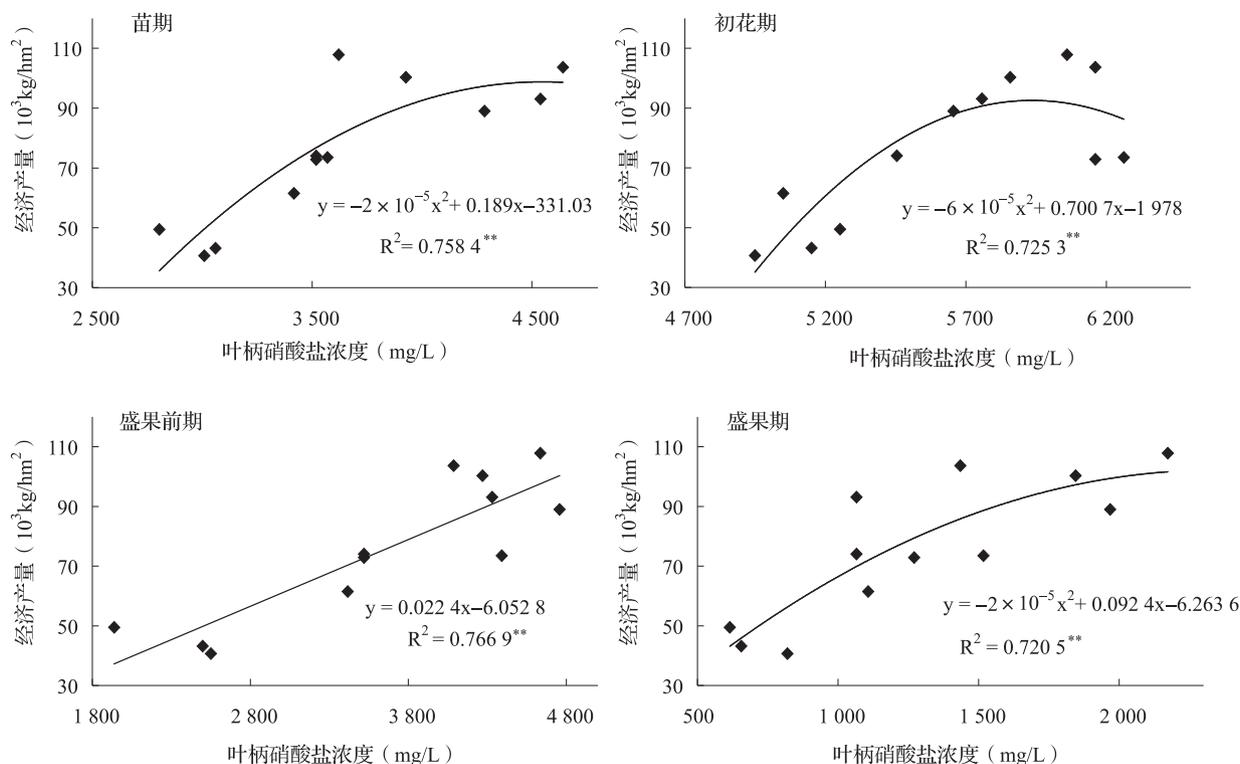


图2 不同时期叶柄硝酸盐浓度和经济产量关系

最适宜，以保证作物有充足营养而不至减产^[12]。在本试验条件下，以经济产量 85 946 kg/hm²（方程模拟得到的最高产量的 90%）时新功能叶的叶柄硝酸盐浓度值为临界值，计算得到的苗期、初花期、盛果前期、盛果期临界值分别为 3 929、5 581、4 182、1 474 mg/L，各生育期新功能叶的叶柄硝酸盐浓度低于临界值时，代表加工番茄缺氮，需及时补充，否则将会造成减产。

作物生长受多种外界因子影响，前期诊断结果与后期产量之间的关系也会受到外界多种因子影响，因此，得到的临界值需用叶柄硝酸盐浓度与植株全氮量、叶全氮含量、采样期植株生物产量等进行校验。加工番茄前期对氮素的积累十分缓慢，在出苗后前 2 个月的植株累积吸收量不足生育期总累积吸收量的 10%，盛果前期加工番茄开始进入氮素的快速积累^[13]。故在施基肥的基础上，对加工番茄盛果前期氮素营养诊断更具现实意义。

经过校验，盛果前期叶柄硝酸盐浓度与叶全氮含量、植株全氮含量及植株地上部干物质量之间都有极显著的直线正相关（图 3），因此，盛果前期作为加工番茄重要的营养诊断时期较为合理。

2.2.4 加工番茄叶柄硝酸盐诊断追肥模型的建立

根据加工番茄各生育期叶柄硝酸盐浓度与产

量、叶柄硝酸盐浓度与施氮量之间的关系可以建立硝酸盐诊断追肥模型^[14]。前文已经论述，加工番茄以盛果前期作为营养诊断时期最为合理，又因此时期需肥量大，所以以盛果前期建立硝酸盐诊断追肥模型最有意义。模型建立步骤如下：

$$N_d = N_{opt} - N_{fert} \quad (1)$$

N_d ：推荐追氮量； N_{opt} ：最适施氮量； N_{fert} ：施氮水平，经验证，盛果前期叶柄硝酸盐诊断值 Tr 与其相对应的施氮水平 N_{fert} 呈极显著线性回归关系：

$$Tr = a + b N_{fert} \quad (2)$$

将②式代入①式得到诊断推荐模型：

$$N_d = N_{opt} + a/b - Tr/b \quad (3)$$

盛果前期，叶柄硝酸盐浓度与施氮水平的线性关系方程为：

$$Tr = 2771 + 5.128 N_{fert} \quad (R^2 = 0.8365^{**})$$

将 a、b 值及最适施氮量 400.3 kg/hm² 代入模型③，得到推荐追肥模型如下：

$$N_d = 940.7 - 0.1950 Tr$$

根据加工番茄氮肥推荐追肥模型，得到的盛果前期氮肥追肥推荐见表 4。推荐量为诊断期之后总的氮肥施用量，应根据具体情况确定追施次数及每次用量。如有机质含量较高的土壤，因施入的氮肥

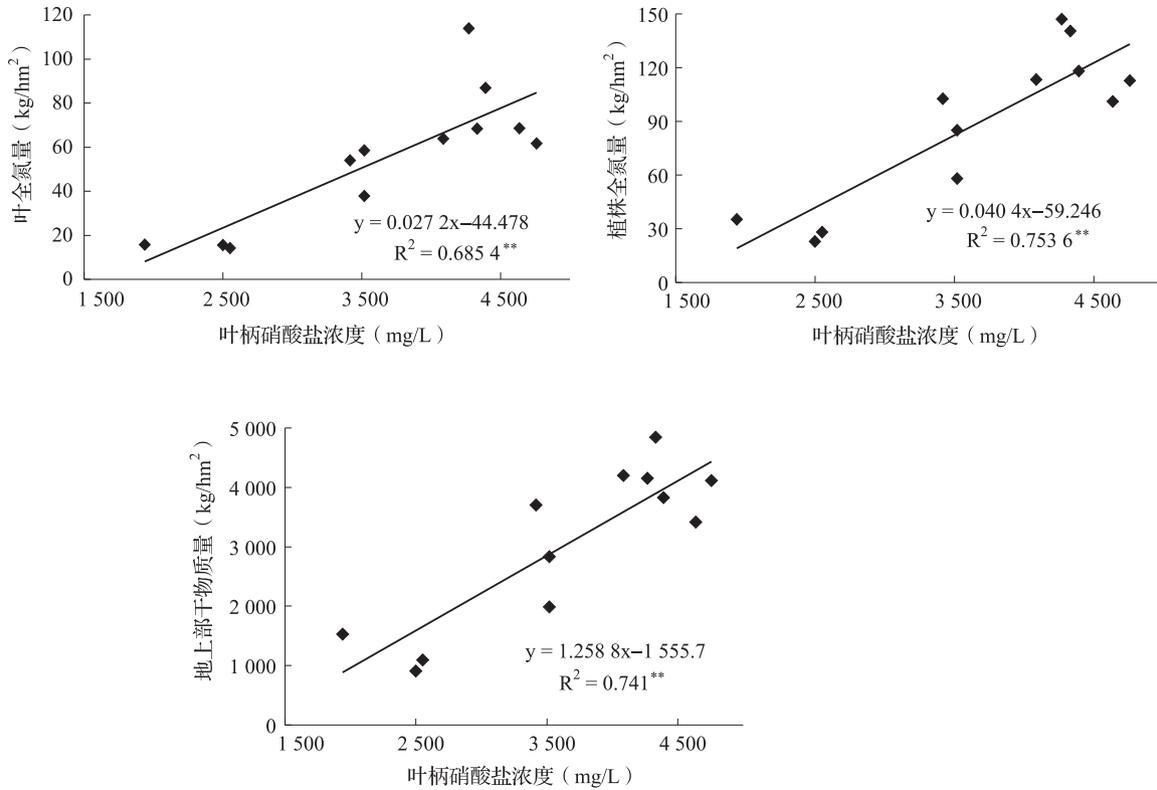


图3 盛果前期叶柄硝酸盐浓度和叶全氮量、植株全氮量及地上部干物质量关系

易被土壤胶体吸附和微生物所固定，保肥性能强，施肥可次少量大；而有机质含量较低的土壤，因矿化快，保肥性差，氮肥施用则宜少量多次。由于影

响叶柄硝酸盐浓度的因素有很多，包括土壤状况、品种、气候等，所以实际生产中叶柄硝酸盐诊断还应充分考虑这些因素的影响。

表4 盛果前期的氮肥追肥推荐

硝酸盐诊断值 (mg/kg)	3 500 ~ 3 800	3 800 ~ 4 100	4 100 ~ 4 400	4 400 ~ 4 700	4 700 ~ 5 000
追肥量 (kg/hm ²)	199.7 ~ 258.2	141.2 ~ 199.7	82.7 ~ 141.2	24.2 ~ 82.7	0 ~ 24.2

3 小结

加工番茄施用氮肥增产增收效果显著，优化施氮处理 (N2) 经济产量为 95 259 kg/hm²，较不施氮处理 (N0) 增产 50 812 kg/hm²，增收 14 988 元/hm²。

各处理加工番茄叶柄硝酸盐浓度随生育期都呈相似变化趋势，即苗期到花期增大，花期达到顶峰，然后随生育期推进而下降，后期降到较低水平，并趋于稳定。叶柄硝酸盐浓度在一定范围内随施氮量的增加而增大，表现为 N0 < N1 < N2。

本试验经过校检，加工番茄以盛果前期作为氮营养诊断时期较为合理，其临界值为 4 182 mg/L，若盛果前期的新功能叶的叶柄硝酸盐浓度低于此值，表明加工番茄缺氮，应及时施用氮肥。同时初

步建立了植株硝酸盐诊断追肥模型，并依据模型得出氮肥盛果前期以后的追肥推荐。

参考文献:

- [1] Hernandez C, Bustos V. Fertilizer application to greenhouse tomatoes [J]. Advance Agroindustrial, 1996, 16: 42-44.
- [2] 姜汉川, 居立海. 氮钾肥配施对番茄产量和品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2005, (5): 117-120.
- [3] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略 [J]. 植物学通报, 2007, 24 (6): 687-694.
- [4] Oneri E J, Batey T, Cresser M S. Assessment of nitrogen status of soils for cereal crops: Use of plant and soil analysis to diagnosis N status of spring barley [J]. J. Sci. food Agric., 1983, 34: 549-558.
- [5] Papastylianou I, Puckridge D W. Nitrogen nutrition of cereals

- in a shoot term rotation, II Stem nitrogen as an indicator of nitrogen availability [J]. *Aust. J. Agric. Res.*, 1981, 32: 713-723.
- [6] Donohue S J, Brown D E. Optimum N concentration in winter wheat grown in coastal region of Virginia [J]. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1984, 15: 651-661.
- [7] Leigh R A, Johnson A E. Nitrogen concentration in field grown spring barley: an experiment of the usefulness of expecting concentration on the basis of tissue water [J]. *J. Agric. Sci. Camb.*, 1985, 105: 397-406.
- [8] 王晓静, 张炎, 李磐, 等. 棉花氮素营养状况的诊断研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12 (5): 656-661.
- [9] 李志宏, 王兴仁, 张福锁. 我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究IV [J]. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3 (4): 357-362.
- [10] Elliott D E, Reuter D J, Crowden B, et al. Improved strategies for diagnosing and correcting nitrogen deficiency in spring wheat [J]. *J. Plant Nutr.*, 1987, 10: 1761-1770.
- [11] Oertli J T, Ruth R. Use of critical level curves to manage nitrate concentration in a vegetable [J]. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1992, 23: 2711-2728.
- [12] 李志宏, 王兴仁, 张福锁. 我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究 III. 春小麦氮营养诊断及追肥推荐体系的研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3 (4): 349-356.
- [13] 汤明尧, 张炎, 胡伟, 等. 不同施氮水平对加工番茄养分吸收、分配及产量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (5): 1238-1245.
- [14] 王晓静. 棉花氮素营养诊断技术的研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2006.

Research on reasonable nitrogen fertilizer input and nitrogen nutrition diagnosis of tomato

TANG Ming-yao^{1,2}, ZHANG Yan^{1,3*}, HU Wei¹, HU Guo-zhi^{1,3}, LI Qing-jun^{1,3} (1. Institute of Soil and Fertilizer and Agricultural Spraying Water, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi Xinjiang 830091; 2. Soil and Fertilizer Station, Agriculture Department of Xinjiang Government, Urumqi Xinjiang 830006; 3. Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Desert Oasis Region, Ministry of Agriculture, Urumqi Xinjiang 830091)

Abstract: Field experiment with four levels of nitrogen i. e. N0 (no nitrogen), N1 (150 kg/hm²), N2 (300 kg/hm²) and N3 (450 kg/hm²) were set to explore the relationship between nitrate content in leaf petiole and yield, total N content in leaf, total N content in plant and aboveground biomass. Nitrate of new features leaf petiole was measured using reflectometry method and aboveground biomass and economic yield were also measured. The result showed that the optimized nitrogen application (N2) economic output was 95 259 kg/hm², which was 50 812 kg/hm² and 14 988 Yuan/hm² higher than non-fertilized treatment (N0) in yield and income. Petiole nitrate concentration in all the treatments had the same trends along with the growing process, and the petiole nitrate content among treatments was N0 < N1 < N2, which showed it increased with the increasing amount of nitrogen fertilizer in a certain range. After proof testing, the pre-full fruit period of tomato was the reasonable period for nutrient diagnosis, and the diagnostic threshold was 4 182 mg/L. Meanwhile a topdressing model based on petiole nitrate content was established.

Key words: tomato; nitrate; nutrition diagnosis; nitrogen fertilizer recommendation