

岩棉营养液栽培 K、N 不同浓度对番茄生育、产量及品质的影响

周艺敏

(天津市土壤肥料研究所, 天津 300192)

吉田 彻志 福元康文

(日本高知大学农学部)

摘 要 采用岩棉营养液栽培方法探讨不同 K、N 水平对番茄的生育、产量及品质的影响。试验结果表明, K、N 配合明显促进番茄生育, 单株鲜重、干物重、茎粗、叶面积均随营养液中 K 浓度的增加而增大, 呈显著或极显著正相关($r=0.939\sim0.998$)。N、K 交互未达显著水准, 但 N 浓度的增加提高了相关关系的斜率。随 K 浓度的增加, 番茄开花和座果及成熟期提前; 单株产量、单株结果数、单果重有增加倾向; 优质果率明显提高。品质分析结果表明, 果实中可溶性固形物、滴定酸度与 K 浓度呈显著或极显著正相关。果实表面色 $L^* a^* b^*$ 与 K 浓度密切相关, 提高 K 浓度有利于果实着色。高 K 浓度有降低叶中 P、Ca、Mg 含量的倾向。在高 N 营养条件下必须相对提高 K 的浓度以避免营养失调。番茄营养液栽培 K 的浓度以 $200\sim300\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为宜, N 浓度以 $100\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为宜。
关键词 番茄 营养液 钾素营养 氮素营养 配合施肥 生理指标 产量

K 是作物必需的营养元素, 在维持细胞内物质的正常代谢、光合产物的运转、酶活性的增强、蛋白质的合成、气孔的开闭等生理功能方面发挥重要作用^[1,2], 同时在增强作物抗性、改善品质方面具有独特的效能而被称为品质元素^[3,4]。K 与其他元素合理配合施用的研究已日益受到注目^[5~7,13], 但在营养液栽培中高浓度 K 与 N 的配合对作物生育及品质改善的影响报道甚少。本项研究采用岩棉营养液无土栽培方法, 探讨在 N 二水平条件下不同 K 浓度对番茄的生育、产量、品质及对其他元素吸收的影响, 为钾肥的合理施用提供一定依据。

1 材料和方法

供试品种: 桃太郎(*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. House momotaro), 1995 年 4 月 10 日~8 月 10 日在日本高知大学农学部采用岩棉营养液栽培方法进行。堀氏完全营养液^[1]作为标准液(表 1), 设 K 四水平(50, 100, 200, $400\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), N 二水平(100, $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)共 8 个处理。各处理为标准液加不同 N、K 处理液, 含量见表 2。4 月 10 日营养钵育苗, 4~5 叶期插入岩棉小方(10cm×10cm×8cm)后移入岩棉床(450cm×20cm×15cm)定植, 株距 30cm, 每处理

13 株。沿植株两侧敷设滴灌带, 定植一周后按处理浓度分别在 18dm³ 容器罐内配制好营养液, 利用数字泵连接滴灌带, 按相同液量一日灌 1~2 次, 7~10 天更新一次。番茄第三段果上留 2 片顶叶摘心, 每段 4 果。每 3~5 日采各处理营养液及岩棉床残留溶液测定 pH、EC 值。生育期进行生物学性状、产量、品质调查。收获期各处理分别取 3 株测定单株鲜重、干重、上两片顶叶叶面积及叶片无机元素含量分析。

分析方法: 叶的无机元素含量分析采用 H₂O₂-H₂SO₄ 法消化; N, 凯氏定 N 法; P, 比色法; Ca、Mg、K, 原子吸收光谱法; 可溶性固形物, 数字式糖度计(ATAGOPR-1) 测定; 滴定酸度, 中和滴定法; 果实表面色, 利用色彩色差计(moniter CR-300) 以 L* a* b* 表色系列测定; 叶绿素, 采用叶绿素计(SPAD- 502) 测定。

表 1 标准营养液各种元素含量(mg · kg⁻¹)

含量	元素	含量	元素
NO ₃ ⁻	97	Fe ³⁺	1.77
K ⁺	50	Mn ²⁺	0.69
Ca ²⁺	173	B ³⁺	0.69
PO ₄ ³⁻	60	Zh ²⁺	0.03
Mg ²⁺	22	Cu ²⁺	0.02
NH ₄ ⁺	3	Mo ⁶⁺	0.01

表 2 各处理区 K、N 含量及 pH、EC 状况(mg · kg⁻¹)

处理 编号	KCl 加入量	NH ₄ NO ₃ 加入量	K ⁺ 量	N ⁺ 量	pH	EC (ms cm ⁻¹)
1	0	0	50	100	6.27	1.26
2	50	0	100	100	6.38	1.58
3	150	0	200	100	6.45	1.68
4	350	0	400	100	6.85	2.28
5	0	100	50	200	6.45	1.63
6	50	100	100	200	6.48	1.84
7	150	100	200	200	6.48	2.10
8	350	100	400	200	6.52	2.74

2 结果与分析

2.1 K、N 浓度对番茄生物量的影响

试验后期取各处理代表株测定单株鲜重、干物重、茎粗, 并取顶 2 叶测定叶面积, 结果表明番茄生物量随营养液中 K 浓度的增加而增大, 呈显著或极显著正相关($r=0.939\sim0.998$)。N、K 互作未达显著水准, 但 N 浓度的增加提高了相关关系的斜率(见表 3)。N 二水平的高 K 处理区植株鲜、干物重及顶叶叶面积均比低 K 处理区高 82%~181%。定植 1 个月后高 N 低 K 区最早出现缺 K 症状, 从植株下位第 5、6 叶的叶缘始, 逐渐失绿, 由下而上, 收获期大部枯黄衰老, 其次为低 N 低 K 区, 及 N₂₀₀K₁₀₀处理区, 其他处理区缺素症状不明显。7 月 5 日各处理第 8~12 位叶各 200 位点叶绿素相对含量值的测定结果表明(表 4), N 对叶绿素含量有一定影响, 但高 N 条件下 K 浓度的降低对叶绿素有更大影响, 处理 N₂₀₀K₄₀₀与 N₂₀₀K₅₀对比, K 浓度的下降使叶绿素相对含量减少了 35.3%; 而处理 N₁₀₀K₄₀₀与 N₁₀₀K₅₀比, 低 N 条件下 K 浓度的下降叶绿素相对含量仅减少了 7.3%。生育期间两个低 K 处理区的植株均发育不良, 4 个中 K 处理区生育后期叶面出现病斑, 而二高 K 处理区叶面极少病斑一直保持光合功能至收获期。各处理植株根系状况观察表明, 二高 K 处理区植株根系鲜白, 根量多, 保持旺盛活力; 而二低 K 处理区大部根系老化失去活力。以上生育差异说明不同 N、K 浓度及配比对番茄植株生物量积累有明显影响。

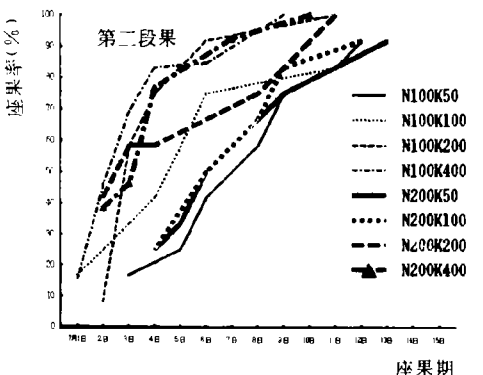
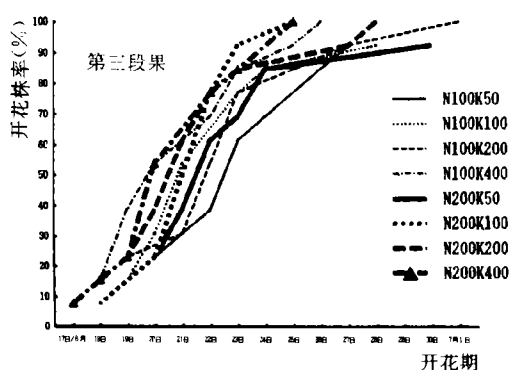
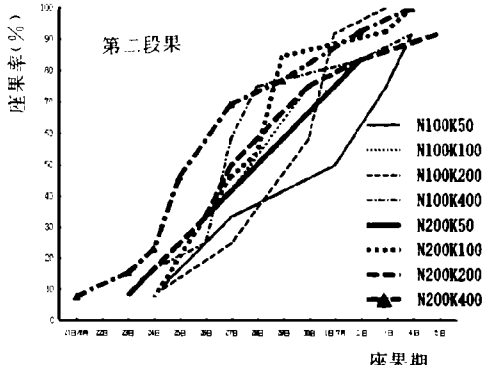
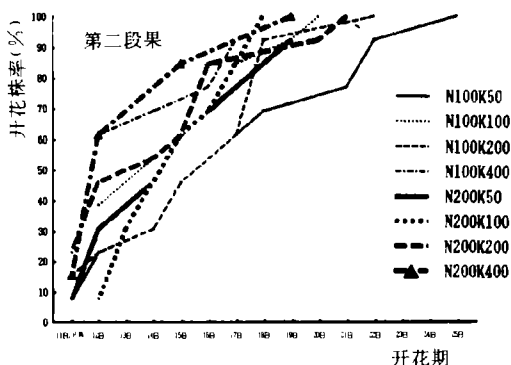
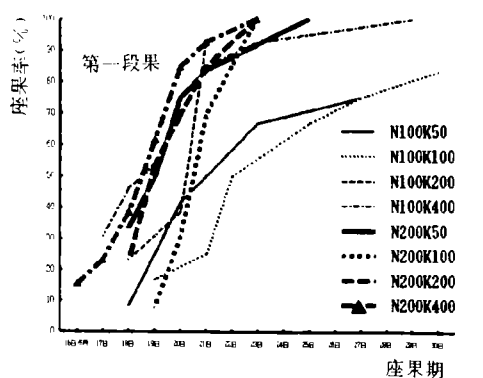
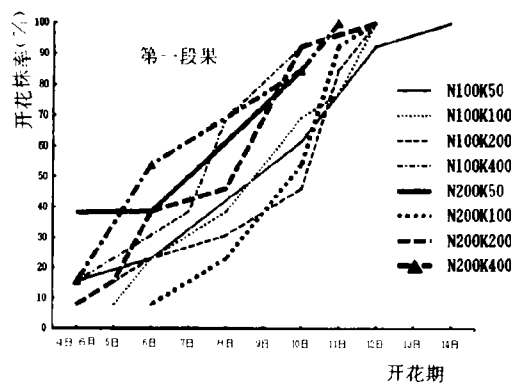


图 1 不同处理各段果位的开花期

图 2 不同处理各段果位的座果期

2.2 对开花、座果、成熟期的影响

营养液中 K 浓度的增加明显使番茄各段果位的开花(图 1)和座果期(图 2)提前。高 K 处理各段果位 60% 的植株开花集中在 2~3 天内,而低 K 处理要延长 4~8 天;按每段果位三个果的果径分别达 2cm 以上为座果期,高 K 处理区各段果位 80% 在 2~4 天内座果,并且果码紧凑,果实大小整齐,而低 K 处理区座果要延迟 4~10 天,且果码稀疏,果实大小不一。N 浓度的

表 3 K、N 浓度对番茄生物量的影响及相关关系测定

处理 编号	鲜重 (g)	干重 (g)	茎粗 (cm)	顶叶面积 (cm ²)	K ⁺ 浓度与生物产量、顶叶叶 面积间的相关关系		
					鲜重	低 N	高 N
1	470.3a	80.3a	1.26a	664.2a		y = 1.48x + 449	r = 0.981 [*]
2	651.7a	101.7a	1.40ab	756.3a		y = 2.09x + 541	r = 0.939
3	755.3a	128.0a	1.49bc	996.7b	干重	低 N	y = 0.30x + 68
4	1028.7b	187.3b	1.60c	1214.2c		高 N	y = 0.36x + 86
							r = 0.998 ^{**}
							r = 0.952 [*]
5	517.3a	89.0a	1.29a	600.3a	茎粗	低 N	y = 0.001x + 1.3
6	910.0b	147.0b	1.45b	1129.7b		高 N	y = 0.002x + 1.3
							r = 0.941
							r = 0.988 ^{**}
7	943.7b	148.0b	1.59b	1175.8b	顶叶	低 N	y = 1.57x + 613
8	1361.0c	231.0c	1.86c	1685.5c	面积	高 N	y = 2.66x + 648
							r = 0.982 [*]
							r = 0.930

提高也可使开花、座果平均提前 2~3 天。高 N 高 K 处理第三段果座果期与低 N 高 K 处理相比有延迟倾向, 主要原因为生育后期受盐类浓度障害影响, 生育受阻。

2.3 对产量及优质果率的影响

除高 N 低 K 区(N₂₀₀K₅₀mg · kg⁻¹) 产量

表 4 叶片叶绿素含量测定结果

处 理	N ₁₀₀ K ₅₀	N ₂₀₀ K ₅₀	N ₁₀₀ K ₄₀₀	N ₂₀₀ K ₄₀₀
平均(%)	46.29	38.85	49.68	52.54
标准差	2.66	4.97	1.75	1.98
指数	0.88	0.74	0.95	1.00

n= 200

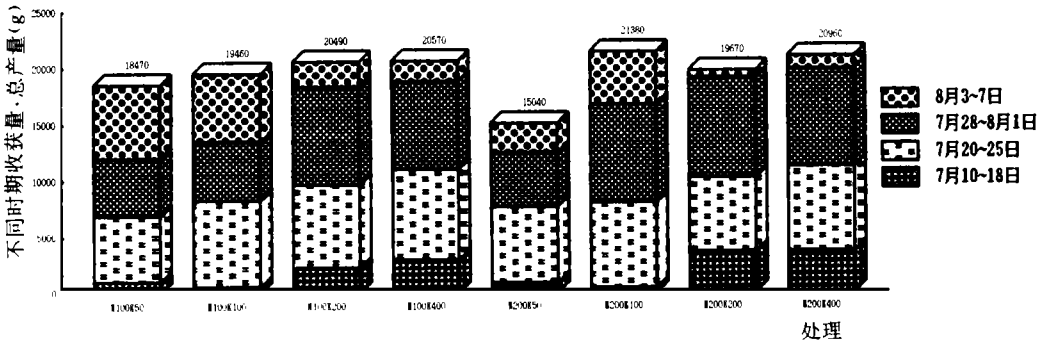


图 3 不同处理不同收获期产量及总产量比较

最低, 差异达显著水平以外, 其他处理区间的平均单株产量、单株结果数、单果重差异不显著 (图 3), 但低 N 区处理随着 K 浓度的增加, 产量有增加倾向, 但高 N 高 K 区 (处理 7、8) 因生育后期受番茄脐腐病发病影响产量呈现下降倾向, 优质果率亦表现同样趋势 (图 4)。

2.4 果实的可溶性固形物、滴定酸度及着色

各处理一、二段果实 (5 果平均) 分析结果表明, 可溶性固形物、滴定酸度与营养液中的 K 浓度呈显著、极显著正相关 (r_b = 0.798 ~ 0.870, r_t = 0.746 ~ 0.828, n = 8), 多重比较表明, 处理间差异显著 (见表 5)。K, 400mg · kg⁻¹处理区分别比 50mg · kg⁻¹处理区可溶性固形物增加 1.02 ~ 2.06 个百分点, 滴定酸度提高 0.116 ~ 0.316 (g / 100ml 汁液)。果实表面色利用色差色度计 (CR-300) 测定结果表明, 表面色 L^{*} a^{*} b^{*}, (L^{*} 表示明度, a^{*} 红度, b^{*} 黄度) 和营养液中 K 浓

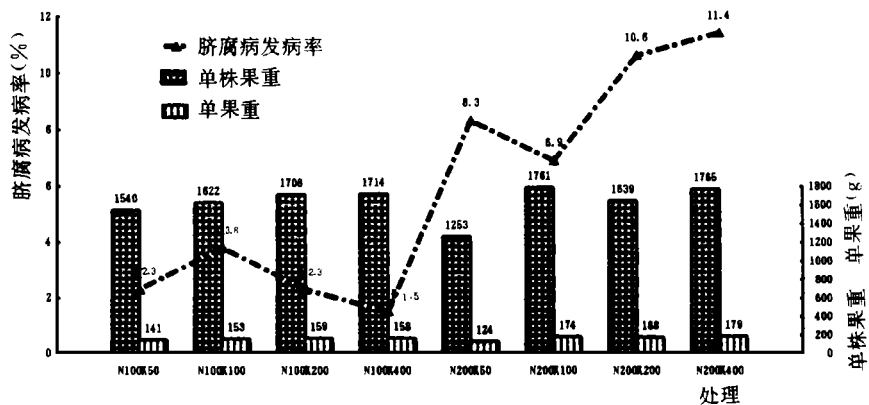


图 4 不同处理的单株产量、单果重及脐腐病发病率比较

表 5 N、K 配合对果实可溶性固形物、滴定酸度含量的影响

果段位		处 理							
		1	2	3	4	5	6	7	8
可溶性固形物 (%)	1 段	4.86a	5.56b [*]	5.86b	6.08b	5.22a	6.12b ^{**}	6.48b	7.02c [*]
	2 段	4.84a	5.42b ^{**}	5.80b	5.86b	4.62a	5.92b ^{**}	6.06b	6.68c ^{**}
		$y = 2.70 \times 10^{-3}x + 5.02$				$y = 4.72 \times 10^{-3}x + 5.11$			
		$r_b = 0.798^*$ n = 8				$r_b = 0.870^{**}$ n = 8			
滴定酸度 (g/100ml)	1 段	0.470	0.589	0.539	0.687	0.406	0.676	0.648	0.678
	2 段	0.475	0.516	0.614	0.591	0.388	0.530	0.533	0.704
		$y = 4.13 \times 10^{-4}x + 0.483$				$y = 6.52 \times 10^{-4}x + 0.448$			
		$r_t = 0.828^*$ n = 8				$r_t = 0.746^*$ n = 8			

注: 5 果平均; ^{*})LSR, 0.05 ^{**})LSR, 0.01

表 6 N、K 不同浓度对比对番茄着色的影响

表色系列	果段位	处 理							
		1	2	3	4	5	6	7	8
L [*] (亮度)	1 段	52.72c	46.22b	44.23b	40.77a	50.65b	51.32b	41.97a	40.53a
	2 段	49.84	47.11	44.06	42.36	53.91	46.20	44.18	41.37
a [*] (红度)	1 段	18.38a	22.43b	24.70b	24.50b	17.72a	13.43a	24.73b	25.85b
	2 段	15.42	19.93	21.27	23.50	16.96	17.13	24.54	23.48
b [*] (黄度)	1 段	28.85c	22.55b	20.00a	17.13a	28.42c	21.88b	18.32a	16.93a
	2 段	23.96	21.17	18.48	17.70	29.85	22.16	21.32	17.20

注: 6 果平均

度含量有密切的相关关系,与 L^{*}b^{*} 呈显著负相关($r = -0.883^{**}$, $r = -0.822^*$) 与 a^{*} 呈显著正相关($r = 0.748^*$)。说明营养液中 K 含量的提高大大改善了果实的着色(见表 6)。

2.5 叶的无机元素 N、P、K、Ca、Mg 含量

叶中无机元素含量分析结果见表 7。低 K 处理 N 含量最低, 随 K 浓度的增加, 叶中 N 含量有增加倾向, 但多重比较差异不明显; 叶中 K 含量与营养液中 K 含量呈极显著正相关; 营养液中 N 浓度的增加促进了 K 的吸收, 也促进了 P 的吸收, 但高 K 含量营养液有降低叶中 P、Ca、Mg 含量的倾向。Ca 含量的降低提高了番茄脐腐病发病率^[14]。

表 7 N、K 不同浓度与对比对无机元素吸收的影响 (%)

处理 编号	N	P	K	Ca	Mg
1	2. 93a	0. 845a	0. 62a	3. 71a	0. 890a
2	3. 93b [*]	1. 203b ^{**}	1. 90b ^{**}	4. 36b [*]	0. 937a
3	3. 86b	0. 592a	3. 10c ^{**}	3. 59a	0. 837a
4	4. 06b	0. 536a	3. 81c	2. 92a	0. 890a
5	3. 77a	1. 199b [*]	0. 51a	2. 63a	0. 567a
6	4. 06a	1. 485b ^{**}	1. 60b [*]	2. 57a	0. 770b [*]
7	3. 88a	0. 789a	3. 66c ^{**}	2. 10a	0. 637a
8	4. 07a	0. 715a	4. 18c	2. 40a	0. 580a

^{*} ^{*} LSR. 0. 01; ^{*} LSR. 0. 05。

2.6 溶液中的 pH、EC 变化

各处理营养液的 pH 值、EC 变化不大, 随着 K 浓度的增加, pH、EC 有增高倾向; 高 N 区残留溶液中的 pH 有下降倾向, EC 变化与营养液变化倾向一致, 但变幅比较大; 高 N 高 K 区有积盐现象, EC 最高达 $4. 08 \pm 1. 89 \text{ms/cm}$, 是脐腐病发病率增加的原因。

3 讨论

Chung^[9]等在番茄的三真叶期开始按 N 浓度 2, 4, 8, 16, 或 32me/L (28, 56, 112, 224 或 448mg/kg) 及 K 浓度 2, 4, 8, 16me/L (78, 156, 312, 624mg/kg) 营养液培养结果指出, 除最高的浓度组合外, 株高及叶面积均随 K 浓度的上升而增大, K 对株高及叶面积的影响要比 N 大。Wilson^[8]在水培番茄, Jang Weijie 等^[7]在岩棉营养液栽培番茄试验中看到适当浓度的 N、K 配合对番茄的生育、产量及品质改良具有良好的影响。但高 N 低 K 处理 ($\text{N}250 \mu\text{gml}^{-1}$, $\text{K}30 \mu\text{gml}^{-1}$) 产量最低。本试验与上述结果基本一致, 同时表明 K 浓度与生物量、叶面积、茎粗之间有密切的相关关系。产量结果显示, 在低 N ($100 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 条件下, K 浓度增加, 产量有增高倾向; 但高 N 条件下, 由于生育后期盐类浓度障害, 营养失调, 产量下降。

Rao Lihua 等^[6]在盆栽试验中用电子显微镜观察, 无 K 处理区番茄叶的叶绿体呈圆型, 体小, 基粒少, 周围有线粒体存在; 有 K 处理区叶绿体呈椭圆型, 体大基粒多, 周围无线粒体存在, 该结果与本试验中测定的低 K 处理区叶面叶绿素含量下降结果相吻合。表明 K 营养失调会影响叶绿体的正常发育, 进而影响光合作用, 造成生育不良、产量下降。Haeder 和 Menger (1971), Forster (1976), Haeder 和 Beringer (1981) 等研究也指出, 适量 K 营养可以减慢叶及根的衰老。

山崎等指出, 提高营养液 K 浓度, 果实的糖度及游离酸、结合酸都相对提高^[11]。本试验进行的相关测定表明 K 浓度与可溶性固形物及酸度都有正的相关关系, N 浓度的增加也对果实中糖、酸度的提高有促进效果。

Winsor (1979) 等指出, 番茄叶中 K 浓度的提高有利于果实的均一着色, 果实表面的黄斑

减少。Adams^[11]指出, 随着营养液中 K 浓度的增大可以提高果实的成熟度。本试验表明了 K 浓度与果实表色系列中的 L^* 呈显著负相关, 与 a^* 呈显著正相关, 与 b^* 呈显著负相关, 并详细探讨了 K、N 不同浓度对番茄的开花、座果及成熟期的影响, 表明适度提高营养液 K、N 浓度可使番茄提早成熟 7~10 天, 且果实整齐。

Jang Weijie 等^[7]指出, 营养液的 N 和 K 浓度同时增大时, 番茄对 P 的吸收增加, 而对 Ca 和 Mg 的吸收减少。Adams^[11]认为, K 浓度的提高会引起作物对 Mg 吸收的减少。Winsor 等指出营养液中 N 浓度的增加会促进作物对 K 的吸收, 本试验结果同以上报告一致。

综上所述, 本试验结果表明, K、N 适当配合对番茄的生育、产量、熟期、品质等具有重要影响, 在高 N 条件下更要注意 K 肥的合理配合施用。本试验采用 KCl 条件下, 营养液中的 K 浓度以 $200 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、N 浓度以 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为宜。岩棉营养液栽培的方法可以在反季节栽培中推广应用。

参 考 文 献

- 1 山崎肯哉. 养液栽培全编. 博友社, 1982, 67~68, 177~185
- 2 Munson RD, Bishop WD, Ellis BG. Potassium in Agriculture. Madison, Wisconsin, USA, 1985
- 3 山崎耕宇, 杉山达夫, 高桥英一等. 植物 · 肥料学, 博友社, 1993, 73~101
- 4 Hunber SC. Role of potassium in photosynthesis and respiration. Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, 1985, 369~396
- 5 Peoples TR, Koch DW. Plant Physiol, 1979, 63: 878~881
- 6 Rao Lihua et al. Effect of Potassium on photosynthesis and yield formation of tomato plant. Acta Agriculturae Universitates Zhejiangensis, 1989, 15(4): 341~348
- 7 Jang Weijie, Zhen Guanghua, Jia Weiwei. Studies on the effect of N and K concentration & N K interaction on tomato growth, yield, quality and its relevant mathematics models on rockwool. Proceedings of International Symposium on Applied Technology of Greenhouse, Beijing, China, 1991, 229~240
- 8 Wilson GCS. Effect of N K ratio in hydroponic situation. Acta Horticulturae, 1980, 98: 119~126
- 9 Chung SJ, Seo BS, Lee BS. Effects of nitrogen, potassium levels and their interaction on the growth and development of hydroponically grown tomato. Journal of the Korean Society for Horticultural Science, 1992, 33: 244~251
- 10 Adams P, Massey DM. Nutrient uptake by tomato plants from recirculating solution. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture, 1984, 71~80
- 11 Adams P, Grimmett MM. Some responses of tomatoes to the concentration of potassium in recirculating nutrient solutions. Acta Horticulturae. 1986, 178: 29~35
- 12 Holder R, Christensen MH. The effect of electrical conductivity on growth, yield and composition of cherry tomatoes grown on rockwool. Proceedings of the 7th International Congress on Soilless Culture, 1988, 213~228
- 13 Wilcox GF. Potassium Needs-Diagnosis and Use on Vegetable Crops. Hortscience, 1969, 4(1): 41
- 14 何念祖, 孟赐福. 植物营养原理. 上海: 上海科学技术出版社, 1987, 195~200

Effects of Different K, N Concentration in Rock Wool Culture on Growth, Yields and Quality of Tomato

Zhou Yimin

(Tanjin Soil and Fertilizer Institute, Tianjin 300192)

Tetsushi Yoshida Yasufumi Fukumoto

(Kochi University of Japan)

Abstract The results of the experiment showed that combined application of K, N obviously promoted tomato growth. The fresh weight, dry weight, stem width and leaf area per plant increased with the increasing of K concentration in nutrient solution and showed significant positive correlation. Blooming, fruit-setting and cropping date were advanced with increasing of concentration of K and N. The maturation date was 7–10 days earlier than that of low potassium treatment. Average yield per plant, fruit number per plant, weight of single fruit, the rate of high-class fruit were increased clearly with the increased concentration of K; but at the end of growth period there was salt accumulation phenomenon in rock wool culture bed in high N and K treatment, this case made the reduction of calcium absorption, increment of bloom end rot and the reduction in yield. The result showed that soluble soil titratable acidity with K concentration were significant correlation. The fruit surface color was a closely correlation with K concentration and was a significantly negative correlation with L^*b^* , and significantly positive correlation with a^* . Increasing of K concentration promoted absorption of N and K in leaf, and increment of N concentration increased the absorption of K and P in leaf, but high K concentration was a trend to reduce the P, Ca, Mg contents in leaf. The result of experiment indicated that the treatment of high N but low K would make symptoms of nutrient unbalance and the yield significant reduced worse than that of low N and low K unless correspondingly increasing the K concentration. The experiment recommended suitable K concentration $200\text{--}300\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and N concentration $100\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. In order to guarantee high quality and yields, K concentration could be improved properly in tomato nutrient solution.

Key words: Tomato; Nutrient solution; Potassium nutrition; Nitrogen nutrition; Application of combined fertilizer; Physiological Index; Yield