

番茄对氮磷钾及中微量元素的吸收规律研究

褚 屿, 骆洪义*, 林举梅, 左世福, 张喜琦, 陈堂鑫, 徐 震, 王志远

(山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘 要: 通过田间试验研究了番茄生长过程中对氮、磷、钾及中微量元素的吸收分配规律。通过试验, 测定番茄各个时期根系、茎秆、叶片、果实中氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、铜、锌的含量, 旨在发现番茄各时期矿质元素的吸收规律。研究表明: 随番茄生长发育的进行, 氮、磷、钾及中微量元素在根、茎、叶中的分配率均呈降低的趋势, 而果实中各元素分配率持续提高。至番茄成熟期果实中氮、磷、钾分配率分别达 44.89%、56.73%、54.25%, 钙、镁分配率分别达 19.9%、53.9%, 铁、锰、铜、锌分配率分别达 31.8%、19.0%、27.8%、9.0%。番茄全生育期吸收钾最多, 氮次之, 磷最少, 全生育期对氮、磷、钾吸收比例为 3.0:1.0:4.7; 对钙、镁吸收比例为 8.1:1; 番茄全生育期对铁需求较大, 锌、锰次之, 铜最少, 吸收比例为 38.6:2.9:1:2.0。

关键词: 番茄; 氮、磷、钾; 钙、镁; 铁、锰、铜、锌; 吸收分配

番茄 (*Solanum lycopersicum*) 是世界上种植分布最广、食用人数最多的作物之一, 在蔬菜生产中占有十分重要的地位^[1-2]。番茄喜温、喜光、耐肥, 较耐旱, 但不耐涝; 番茄种植对土壤条件要求不严格, 但应避免连作^[3]。番茄结果期长, 产量高, 必须要有充足的养分供应。前人的研究结果表明, 氮素是合成细胞膜的重要元素之一, 增施氮肥能显著提升番茄茎叶的生长, 提高作物光合速率, 改善番茄品质, 但过量单一施用氮肥, 将导致茎枝徒长、延迟成熟、产量品质降低^[4-7]。磷素能够促进番茄根系生长, 提高抗病、抗旱、抗寒能力, 适量施磷能使植物生长发育良好, 促进早熟; 施磷过多会影响植物对其它元素的吸收^[8-10]。番茄全生育期内对钾素吸收最多, 钾素可以增加番茄的抗性, 促进果实发育, 对果实着色具有重要作用, 提高果实品质。如果钾肥施用过多, 会导致根系老化, 妨碍茎叶的发育^[11-12]。番茄需钙较多, 如果生长期间缺钙果实很容易发生生理障碍。钙、镁浓度过量或不足, 会导致番茄吸收氮、磷、钾减少, 植株生长发育弱, 果实产量和品质降低; 缺钙、镁还引起根茎叶部分细胞木质化程度加深, 从而导致植株对

养分的吸收、运输和分配受阻^[13-14]。作物生长初期, 镁大多存在于叶片中, 到了结实期, 则以植酸盐的形态储存在种子中。Grimme^[15]发现, 当镁供应量较少时, 它首先积累在籽粒中, 且生殖器官能优先得到镁的供应; 当镁供应充分时, 镁首先累积在营养体中, 此时, 营养体是镁的储存库。据有关资料显示, 镁能促进加工番茄的营养物质从老叶向嫩叶和幼嫩器官转移^[16], 可见, 进行氮、磷、钾合理配施, 对提高番茄产量, 改善番茄品质具有重要作用。

关于番茄对氮、磷、钾的吸收特性已有相关报道, 由于番茄品种、产量水平及土壤特性不同, 其吸收量及吸收比例差异较大。特别是近年来, 随着番茄品种的改良和栽培新技术的应用, 以及种植区域和设施情况不同, 其对氮、磷、钾养分的吸收利用特性势必发生较大变化。前人研究表明, 不同试验条件下番茄最适宜氮磷钾用量不同, 且以上需肥规律的研究均采用基施加追施方式, 在目前生产中, 番茄养分供应大多采用水肥一体化方式, 但关于水肥一体化条件下, 番茄需肥规律的研究较少。因此, 在前人研究的肥料用量应用于水肥一体化条件下, 通过此试验研究番茄需肥规律, 探索水肥一体化条件下番茄在不同生长阶段对氮、磷、钾、钙、镁及微量元素的吸收分配规律, 为设施番茄高效施肥体系的建立及生产中的合理施肥提供科学的理论依据。本研究以“番茄”为试材, 选用添加大量元素为主要成分的水溶肥料, 旨在研究其在番茄

收稿日期: 2019-12-20; 录用日期: 2020-03-27

基金项目: 山东省 2018 年重点研发项目 (节水农业和水肥一体化关键)。

作者简介: 褚屿 (1996-), 女, 天津人, 硕士, 研究方向为植物营养。E-mail: 2415957305@qq.com。

通讯作者: 骆洪义, E-mail: hot68168@163.com。

上的应用效果, 为在农业生产中大面积推广应用提供科学依据和配套技术。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2018 ~ 2019 年在山东省泰安市宁阳县华丰镇大棚中进行。供试土壤为壤土, 全氮 $1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、硝态氮 $211.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、铵态氮 $81.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷 (P_2O_5) $28.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 (K_2O) $83.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有机质 $11.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH 6.71、有效态铁 $16.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、锰 $14.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、铜 $0.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、锌 $7.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、交换态钙 $1.77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、交换态镁 $0.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试品种为番茄“T101”, 催芽后于 8 月 19 日定植, 10 月 21 日打顶, 每株留 5 穗果, 每穗留 4 个果实。行距 50 cm, 株距 30 cm。小区面积 67.7 m^2 , 重复 3 次。

施肥量根据郭世荣^[17]的研究, 设计施肥量 N $800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $157.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $797 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、CaO $473.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、MgO $189.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 所施肥料为尿素、磷酸二氢铵、硫酸钾、螯合钙、硫酸镁。采取滴灌的方式, 将肥料充分溶解后, 随水滴灌到土壤中, 共分 14 次施用, 其中定植 - 开花期施用 1 次, 分别施入氮、磷、钾、钙、镁设计总量的 10%、20%、5%、10% 和 0%, 开花 - 坐果期施用 1 次, 分别施入 10%、15%、5%、5% 和 5%, 采收期施用 12 次, 分别施入 80%、75%、90%、85% 和 95%。其它管理同普通生产, 即定期喷洒农药和田间管理^[18], 试验期间番茄无病虫害发生, 番茄收获时平均产量达 $270000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

植株样本采集: 定植缓苗后, 分 4 次取全株植株样, 每处理取 10 株代表植株, 采样时期分别为开花期、坐果初期、坐果后期、成熟期。

1.2 测定项目与方法

定植缓苗后, 试验期间按生长时期分 4 次取全株植株样, 每次每小区取代表性植株 10 株。采样时间分别为开花期、坐果初期、坐果后期、成熟期; 分别测定各处理番茄植株株高、茎粗以及鲜重, 之后按器官(根、茎、叶、果)分开, $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱中杀酶 30 min, $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘至恒重, 称重, 计算干物质重。

将各处理干植株样用小型粉碎机粉碎, 过 0.25 mm 筛, 用于测定植株氮、磷、钾、钙、镁、铁、锌、

锰、铜含量。氮、磷、钾采用浓 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮, 分别用凯氏定氮法测全氮, 钒钼黄比色法测全磷, 火焰光度法测全钾。钙、镁、铁、锌、锰、铜采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 消煮, 原子吸收分光光度计测量, 试验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 番茄对氮、磷、钾及中微量元素的吸收分配规律

2.1.1 番茄植株干物质重及对氮、磷、钾的吸收动态

番茄生长发育周期较长, 由图 1 可以看出, 番茄苗期 - 开花期生长量较小, 根系生长迅速, 植株根、茎、叶的干物质重分别为 1.62、5.85、14.53 g, 分别占全生育期干物质重的 61.76%、25.58%、28.09%; 坐果初期生长速率有所增加, 果实生长量迅速增加; 坐果后期, 根系生长缓慢, 果实生长量持续增加, 根、茎、叶、果干物质重分别达全生育期干物质重的 95.41%、79.56%、83.00%、41.25%。

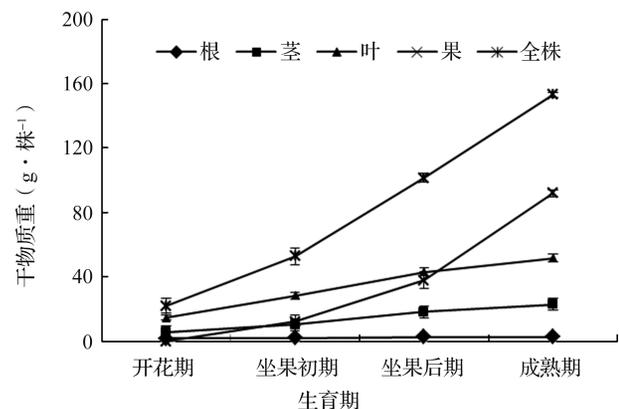


图 1 番茄植株各器官干物质重

图 2 是番茄不同生育期对氮、磷、钾的吸收量。如图 2 所示, 番茄对氮、磷、钾的吸收贯穿于整个生育期, 番茄植株氮、磷、钾的吸收量随生长发育而逐渐增加, 这个趋势一直延续至试验结束。不同生育期番茄养分的吸收量占全生育期吸收总量比例以开花期最小, 在此以后上升。坐果初期及坐果后期是营养吸收旺盛期, 从吸收总量看, 番茄全生育期中吸收钾素最多, 氮素次之, 磷较少。番茄开花期氮、磷、钾吸收量分别占总吸收量的 18.68%、19.54%、19.68%; 在此之后, 植株对氮、磷、钾的吸收量迅速增加, 番茄坐果后期磷吸收速率有所降低, 氮、钾素吸收速率较快, 此时, 氮、磷、钾

吸收量已分别达番茄全生育期吸收量的 68.08%、70.31%、65.96%；番茄成熟时，对氮、磷、钾的平均吸收量分别为 128.51、39.06、175.48 kg · hm⁻²。

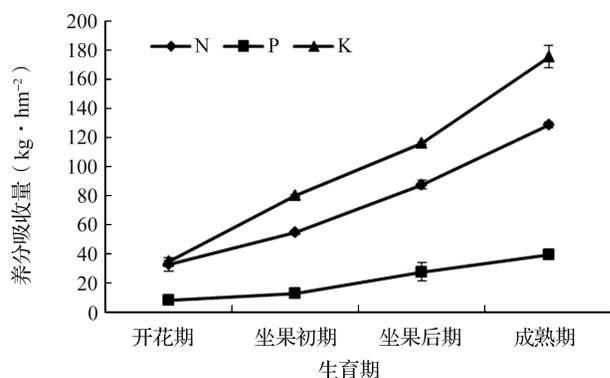


图2 番茄植株全生育期氮、磷、钾吸收动态

2.1.2 番茄植株对钙、镁的吸收动态

钙、镁作为植物营养的中量元素，对植物的生长发育有着重要的意义。试验结果表明，番茄全生育期中对钙素的需求远高于对镁素的需求。如图3所示，番茄开花期钙、镁吸收量较少，分别占全生育期总吸收量的 12.77%、15.29%；在此之后，植株对钙、镁吸收速率迅速增加，番茄坐果后期，钙、镁吸收量分别占总吸收量的 55.68%、64.80%；番茄成熟期对钙、镁的平均吸收量分别为 37.72、4.20 kg · hm⁻²。

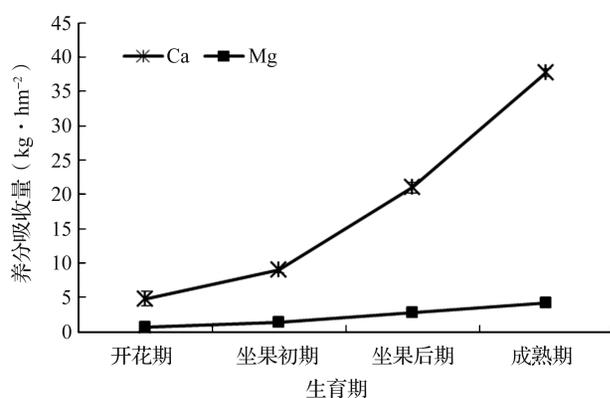


图3 番茄植株全生育期钙、镁吸收动态

2.1.3 番茄植株对铁、锰、铜、锌的吸收动态

番茄植株对铁、锰、铜、锌的吸收也随生育时期的不同而变化。由图4可以看出，在4种微量元素中，番茄对铁的需求量最大，锌和锰次之，铜最少。试验结果表明，番茄全生育期对铁、锰、铜、锌的吸收比例为 1.7 : 0.1 : 0.03 : 0.08，番茄开花期

对铁、锰、铜、锌的吸收量较少，分别占全生育期吸收量的 14.22%、16.75%、27.14%、40.92%；此后番茄植株对铁、锰、铜、锌吸收速率有所增加，番茄坐果后期吸收量有所减缓，此时铁、锰、铜、锌吸收量已分别达番茄全生育期吸收量的 73.41%、74.17%、89.07%、67.54%。番茄成熟期时，对铁、锰、铜、锌的平均吸收量分别为 6.26、0.49、0.12、0.28 kg · hm⁻²。

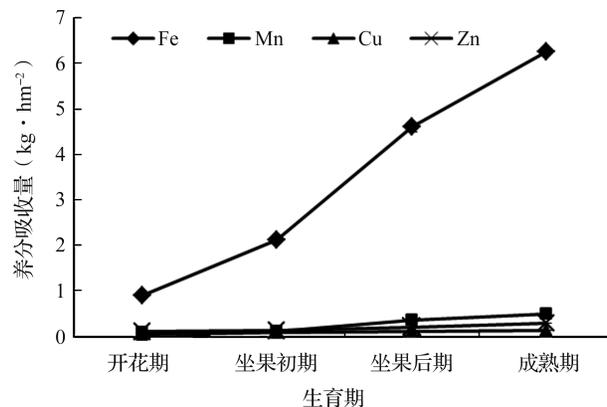


图4 番茄植株全生育期铁、锰、铜、锌吸收动态

2.2 番茄不同生育期对氮、磷、钾及中微量元素的吸收规律

2.2.1 番茄不同生育期对氮、磷、钾的吸收规律

由表1可知，番茄苗期-开花期生长时间占全生育期的 34.4%，但其生长量较小，对氮、磷、钾元素吸收速率较低，其相对吸收量分别为 10.9%、8.8% 和 8.5%；坐果初期-坐果后期番茄植株对氮素、磷素、钾素吸收速率有所增加，吸收量分别为 63.4、27.4 和 115.6 kg · hm⁻²；坐果后期-成熟期番茄植株对氮素、磷素、钾素吸收速率进一步提高，吸收量分别达 121.1、39.0、175.2 kg · hm⁻²。番茄不同生育期对氮素、磷素、钾素的吸收比例也不相同，番茄苗期-开花期 N、P₂O₅、K₂O 吸收比例为 3.8 : 1.0 : 4.6，开花-坐果初期 N、P₂O₅、K₂O 吸收比例为 3.9 : 1.0 : 6.5，坐果初期-坐果后期 N、P₂O₅、K₂O 吸收比例为 2.3 : 1.0 : 4.2，坐果后期-成熟期 N、P₂O₅、K₂O 吸收比例为 3.1 : 1.0 : 4.5，由此可见，随着番茄生长发育的进行，番茄对氮素、钾素的吸收比例增加，开花-坐果期对氮、钾吸收比例最高。番茄全生育期吸收钾素最多，氮素次之，磷素最少，全生育期 N、P₂O₅、K₂O 吸收比例为 3.0 : 1.0 : 4.7。

表1 不同生育期番茄植株对氮、磷、钾的吸收特性

生育期(天数)	吸收速率 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)			吸收量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)			相对吸收量 (%)			吸收比例 N : P_2O_5 : K_2O
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
苗期-开花期(45 d)	0.6	0.2	0.8	28.1	7.5	34.5	10.9	8.8	8.5	3.8 : 1.0 : 4.6
开花-坐果初期(29 d)	1.6	0.4	2.8	46.1	12.3	79.8	17.8	14.2	19.7	3.9 : 1.0 : 6.5
坐果初期-坐果后期(26 d)	4.7	1.5	6.7	63.4	27.4	115.6	24.5	31.8	28.5	2.3 : 1.0 : 4.2
坐果后期-成熟期(31 d)	3.9	1.3	5.7	121.1	39.0	175.2	46.8	45.2	43.3	3.1 : 1.0 : 4.5
全生育期(131 d)	2.0	0.7	3.1	258.7	86.2	405.1	100.0	100.0	100.0	3.0 : 1.0 : 4.7

2.2.2 番茄不同生育期对钙、镁的吸收规律

由表2可知,番茄苗期-开花期对钙素、镁素吸收速率较低,其相对吸收量分别为6.64%、7.17%;坐果初期-坐果后期番茄植株对钙素、镁素吸收速率相对较高,吸收量分别为20.97、2.72 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;坐果后期-成熟期番茄植株对钙素、镁

素吸收速率进一步增加,吸收量分别为37.66、4.20 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。番茄不同生育时期对钙素、镁素的吸收比例也不相同,开花-坐果初期对钙素、镁素的吸收比例最低,仅为6.5 : 1,而在坐果后期-成熟期钙、镁吸收比例高达9.0 : 1,番茄全生育期对钙素的需求显著高于镁素,吸收比例为8.1 : 1。

表2 不同生育期番茄植株对钙、镁的吸收特性

生育期(天数)	吸收速率 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)		吸收量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)		相对吸收量 (%)		吸收比例 Ca : Mg
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	
苗期-开花期(45 d)	0.11	0.01	4.81	0.64	6.64	7.17	7.5 : 1
开花-坐果初期(29 d)	0.31	0.05	8.98	1.39	12.40	15.54	6.5 : 1
坐果初期-坐果后期(26 d)	1.45	0.16	20.97	2.72	28.95	30.39	7.7 : 1
坐果后期-成熟期(31 d)	1.21	0.14	37.66	4.20	52.00	46.90	9.0 : 1
全生育期(131 d)	0.55	0.07	72.42	8.95	100.00	100.00	8.1 : 1

2.2.3 番茄不同生育期对铁、锰、铜、锌的吸收规律

由表3可知,番茄苗期-开花期对铁素、锰素、铜素、锌素吸收速率均较低,其相对吸收量仅分别为6.4%、7.8%、9.3%、15.9%;开花-坐果初期番茄植株对铁素、锰素、铜素、锌素吸收速率均有所增加,其相对吸收量分别为15.2%、11.1%、25.9%、19.0%;坐果后期-成熟期番茄植株对铁素、锰素、铜素、锌素吸收速率进一步增加,吸收量分别为6251.5、486.0、122.9、281.9 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。番茄不同生育时期对铁素、锰素、铜素、锌素的吸收比例也不相同,开花-坐果初期对铁素、锰素、铜素、锌素吸收比例最低,仅为22.7 : 1.2 : 1 : 1.5,番

茄全生育期对铁素需求较大,锌素、锰素次之,铜素最少,吸收比例为38.6 : 2.9 : 1 : 2.0。

2.3 番茄植株不同器官氮、磷、钾及中微量元素的分配特性

2.3.1 番茄植株不同器官氮、磷、钾的分配特性

表4表明,番茄开花期吸收的氮素、磷素、钾素以叶片分配率较高,茎秆次之,根系最少,尤其氮在叶片中的分配率高达77.02%;而随着生长的进行,在番茄坐果初期,叶片中氮素、钾素分配率有所下降,对磷素的分配率有所提高,茎秆中氮素、磷素、钾素的分配率均有所降低,而果实中氮素、磷素、钾素的分配率分别为20.00%、24.27%、21.67%;番茄坐果后期至成熟期,根系、茎秆、叶

片中的氮素、磷素、钾素分配率均持续下降，而果实中氮素、磷素、钾素分配率持续提高，至番茄成熟期果实中氮素、磷素、钾素分配率分别为

44.89%、56.73%、54.25%。根系因生长量较小，全生育期氮磷钾的分配率均较低。

表 3 不同生育期番茄植株对铁、锰、铜、锌的吸收特性

生育期 (天数)	吸收速率 (g · hm ⁻² · d ⁻¹)				吸收量 (g · hm ⁻²)				相对吸收量 (%)				吸收比例 Fe:Mn:Cu:Zn
	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	
苗期 - 开花期 (45 d)	19.8	1.8	0.7	2.6	889.3	81.4	33.4	115.4	6.4	7.8	9.3	15.9	26.7:2.4:1:3.5
开花 - 坐果初期 (29 d)	72.7	4.0	3.2	4.8	2107.5	115.4	92.8	138.2	15.2	11.1	25.9	19.0	22.7:1.2:1:1.5
坐果初期 - 坐果后期 (26 d)	240.4	18.7	4.7	10.8	4589.5	360.5	109.5	190.4	33.2	34.6	30.5	26.2	41.9:3.3:1:1.7
坐果后期 - 成熟期 (31 d)	201.7	15.7	4.0	9.1	6251.5	486.0	122.9	281.9	45.2	46.6	34.3	38.8	50.9:4.0:1:2.3
全生育期 (131 d)	105.6	8.0	2.7	5.5	13837.7	1043.3	358.6	725.9	100.0	100.0	100.0	100.0	38.6:2.9:1:2.0

表 4 不同生育期番茄植株各器官对氮、磷、钾的分配特性

生育期	养分	根		茎		叶		果		整株	
		(g · 株 ⁻¹)	(%)	(g · 株 ⁻¹)	(%)	(g · 株 ⁻¹)	(%)	(g · 株 ⁻¹)	(%)	(g · 株 ⁻¹)	(%)
开花期	N	0.03	3.05	0.22	19.93	0.86	77.02	—	—	1.11	100.00
	P ₂ O ₅	0.01	6.80	0.06	27.72	0.14	65.49	—	—	0.21	100.00
	K ₂ O	0.03	3.31	0.40	41.18	0.54	55.51	—	—	0.97	100.00
坐果初期	N	0.05	2.70	0.29	15.67	1.14	61.62	0.37	20.00	1.85	100.00
	P ₂ O ₅	0.01	3.02	0.07	19.15	0.18	53.57	0.08	24.27	0.35	100.00
	K ₂ O	0.05	2.13	0.59	25.99	1.14	50.22	0.49	21.67	2.27	100.00
坐果后期	N	0.05	1.87	0.33	12.31	1.36	50.75	0.94	35.07	2.68	100.00
	P ₂ O ₅	0.01	1.82	0.15	18.94	0.35	44.88	0.27	34.37	0.78	100.00
	K ₂ O	0.05	1.40	0.62	17.96	1.39	40.70	1.37	39.94	3.43	100.00
成熟期	N	0.07	2.04	0.39	11.37	1.43	41.69	1.54	44.89	3.43	100.00
	P ₂ O ₅	0.02	1.92	0.17	16.34	0.26	25.00	0.59	56.73	1.04	100.00
	K ₂ O	0.06	1.28	0.68	14.47	1.41	30.00	2.55	54.25	4.70	100.00

2.3.2 番茄植株不同器官钙、镁的分配特性

表 5 表明，番茄开花期吸收的钙素、镁素以叶片分配率较高，茎秆次之，根系最少，尤其钙在叶片中的分配率高达 80.9%；而随着生长的进行，在番茄坐果初期，根系、茎秆、叶片中钙素、镁素分配率均有所下降，而果实中钙素、镁素的分配率分

别为 3.1%、16.8%；与开花期和坐果初期相比，番茄坐果后期至成熟期，根系、茎秆、叶片中的钙素、镁素分配率均降低，而果实中氮素、磷素、钾素分配率则提高，至番茄成熟期果实中钙素、镁素分配率分别为 19.9%、53.9%。根系因生长量较小，所以全生育期钙素、镁素的分配率均较低。

表5 不同生育期番茄植株各器官对钙、镁的分配特性

生育期	养分	根		茎		叶		果		整株	
		(mg·株 ⁻¹)	(%)	(mg·株 ⁻¹)	(%)	(mg·株 ⁻¹)	(%)	(mg·株 ⁻¹)	(%)	(mg·株 ⁻¹)	(%)
开花期	Ca	7.0	4.3	24.0	14.7	131.8	80.9	—	—	162.8	100.0
	Mg	1.3	7.2	4.3	24.8	11.9	68.0	—	—	17.5	100.0
坐果初期	Ca	9.7	3.2	40.7	13.2	247.4	80.5	9.6	3.1	307.5	100.0
	Mg	1.7	4.4	7.1	18.6	22.8	60.2	6.4	16.8	37.9	100.0
坐果后期	Ca	13.1	2.2	95.8	16.0	436.4	72.9	53.0	8.9	598.3	100.0
	Mg	1.9	2.7	13.6	19.3	33.7	47.7	21.4	30.3	70.6	100.0
成熟期	Ca	15.0	1.5	150.5	14.9	647.7	63.9	202.1	19.9	1013.3	100.0
	Mg	2.0	1.9	17.7	17.1	28.0	27.0	55.7	53.9	103.4	100.0

2.3.3 番茄植株不同器官铁、锰、铜、锌的分配特性

表6结果表明,番茄开花期吸收的铁素、锰素、铜素、锌素以叶片分配率较高,分配率分别达41.0%、87.4%、72.9%、70.5% ($P<0.05$);随着番茄生长发育的进行,在番茄坐果初期,根系、茎秆中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率与开花期相比均有所降低,叶片中除铁素分配率略有提高外,其他元素分配率均有所降低,果实中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率分别为12.0%、6.7%、18.4%、

7.1%;番茄坐果后期,根系、茎秆、叶片中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率与开花期和坐果初期相比均有所降低,果实中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率分别为22.7%、12.8%、26.0%、8.8%;番茄成熟期,根系中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率均有所降低,茎秆中除铜素外,铁素、锰素、锌素的分配率均有所提高,叶片中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率均有所降低,至番茄成熟期果实中铁素、锰素、铜素、锌素分配率分别为31.8%、19.0%、27.8%、9.0%。

表6 不同生育期番茄植株各器官对铁、锰、铜、锌的分配特性

生育期	养分	根		茎		叶		果		整株	
		(mg·株 ⁻¹)	(%)								
开花期	Fe	7.0	33.9	5.2	25.1	8.5	41.0	—	—	20.7	100.0
	Mn	0.2	7.9	0.1	4.7	2.2	87.4	—	—	2.5	100.0
	Cu	0.1	6.5	0.2	20.6	0.7	72.9	—	—	1.0	100.0
	Zn	0.2	5.8	0.8	23.6	2.3	70.5	—	—	3.3	100.0
坐果初期	Fe	12.2	21.3	10.1	17.6	28.2	49.1	6.9	12.0	57.4	100.0
	Mn	0.2	6.6	0.3	9.4	2.4	77.3	0.2	6.7	3.2	100.0
	Cu	0.1	5.6	0.5	20.0	1.3	56.1	0.4	18.4	2.3	100.0
	Zn	0.2	5.3	0.9	22.7	2.5	64.8	0.3	7.1	3.9	100.0
坐果后期	Fe	16.9	16.9	16.0	16.0	44.5	44.4	22.7	22.7	100.1	100.0
	Mn	0.3	3.9	1.0	8.9	7.5	74.4	1.3	12.8	10.0	100.0
	Cu	0.1	4.7	0.5	15.4	1.7	54.0	0.8	26.0	3.1	100.0
	Zn	0.2	4.6	1.6	31.2	2.9	55.4	0.5	8.8	5.2	100.0
成熟期	Fe	18.7	14.0	26.4	19.8	45.9	34.4	42.5	31.8	133.5	100.0
	Mn	0.4	3.1	1.2	10.2	8.0	67.7	2.3	19.0	11.9	100.0
	Cu	0.2	4.4	0.5	14.6	1.9	53.2	1.0	27.8	3.6	100.0
	Zn	0.3	3.8	2.9	39.4	3.5	47.7	0.7	9.0	7.4	100.0

3 讨论

番茄生长量大, 全生育期 110 ~ 170 d 不等, 苗期较长, 此时期的生长基础可显著影响番茄的产量, 但此时期生长量较小^[19]。本试验结果表明, 番茄苗期-开花期生长天数约占全生育期的 34.4%, 此时期单株生长量占生长总量的 14.4%, 而 29 d 之后的坐果初期生长量占全生育期的 34.5%, 番茄坐果后期, 根、茎、叶的生长速率减缓, 但果实生长量激增。番茄对氮素、磷素、钾素、钙素、镁素、铁素、锰素、铜素、锌素的吸收规律与植株生长特性基本一致, 番茄开花期对氮素、磷素、钾素的吸收速率相对较低, 对钙、镁吸收量较少, 对铁、锰、铜、锌的吸收量也相对较少, 在此之后, 植株对钙、镁、铁、锰、铜、锌吸收速率有所增加, 番茄坐果后期磷素吸收速率有所降低, 氮、钾素吸收速率较快。

番茄全生育期吸收钾素最多, 氮素次之, 磷素最少, 全生育期 N、P₂O₅、K₂O 吸收比例为 4.3:1.0:4.7 (表 1)。不同生长时期各器官对氮、磷、钾吸收比例的变化, 与其生理功能密切相关。由于氮素是可移动的元素, 且主要分配至生长旺盛部位^[20], 氮素吸收积累量增加可促进植株生长, 延缓叶片衰老, 延长叶片功能期^[21]; 磷参与能量的代谢, 作为底物或调节物直接参与光合作用, 存在于生理活性高的部位, 磷在细胞分裂和分生组织的发育中是不可缺少的, 能够促进根系发育, 调节其他元素 (氮素、钾素) 代谢, 在幼苗期和分蘖期更为重要^[22-26]。适当供钾能增强光合作用和相关酶活性, 促进幼苗根系生长, 加速养分向生殖器官的运输^[27-28]。因此, 番茄苗期-开花期对氮素、磷素吸收比例较高, 有利于促进营养生长, 为保证下一阶段生殖生长的养分供应奠定基础。

番茄全生育期对钙素的需求显著高于镁素, 吸收比例为 8.1:1 (表 2)。不同生长时期各器官对钙、镁吸收比例的变化, 与其生理功能密切相关。钙能促进根系生长, 增加养分吸收来间接地达到增产作用。钙能促进蛋白质合成, 增加线粒体蛋白质含量^[29-30]。镁是叶绿素的主要组成成分, 各种酶的基本要素和最活跃的组分, 能加速酶促反应, 促进作物内糖类的转化, 蛋白质的合成及其他代谢过程^[31-32]。番茄植株开花-坐果初期对钙素吸收较多, 能够促进根系生长, 为下一阶段的生长发育打

下基础。

番茄全生育期铁、锰、铜、锌吸收比例为 38.6:2.9:1:2.0。番茄全生育期对铁素需求量较大, 锌素、锰素次之, 铜素最少, 这与其生理功能密切相关。铁多存在于叶绿体中, 是叶绿素合成的必需元素; 铁参与光合作用中的电子传递, 对光合作用有直接的影响; 铁还是一些与呼吸作用相关酶的组分, 所以铁对植物的呼吸作用也有一定的影响^[33-34]; 锰也是叶绿体结构的组成成分, 锰还直接参与光合作用中的光合放氧过程^[35-36]; 铜可影响植物体内生长素氧化酶活性^[37], 植物需求量较少; 锌参与叶绿素的合成, 对很多植物的根、茎生长有决定性作用^[38-39]。

前人研究证明, 适量施用氮磷钾肥能够提高作物品质, 促进作物生长。追施微肥也在多种作物上显示出增产作用^[40-44]。本试验结果也表明, 番茄生长发育不仅对氮、钾有较强的需求, 生长前期根系对磷也有较强的吸收, 对钙、镁、铁、锰、铜、锌等微量元素也有一定的吸收分配规律, 任何植物养分都不能独立地发挥作用, 只有在各种营养成分与植物生长需求平衡时才能确保各种养分的充分利用, 因此在番茄生产上除保证足量钾、氮素供应外, 仍要重视磷肥的施用, 由于氮、磷、钾的肥效与功能不同, 番茄对氮、磷、钾的需求关键期存在一定差异, 施肥时应综合考虑。根据本试验研究结果, 在滴灌设施条件下, 番茄前期对氮素、钾素需求较高, 宜在苗期-开花期及早追施, 以促进同化系统的快速形成, 番茄坐果之后, 果实中钾素含量显著高于其他元素, 因此钾素则宜在坐果期追施, 以促进同化产物向生殖器官运输。生产上可通过植株或土壤诊断确定它们对养分的丰缺, 根据其植株生长特点及营养元素的生理功能进行合理施肥, 以满足番茄不同生育时期对氮、磷、钾及各中微量元素的平衡吸收, 在保证产量、品质的前提下, 有效减少追肥次数和用量, 维持作物的良好生长, 减轻对环境的负担, 以获取高产优质的产品。

4 结论

番茄苗期-开花期生长缓慢, 对氮、磷、钾的吸收速率较低, 吸收量较小; 开花-坐果期植株生长迅速, 吸收速率有所增强; 番茄坐果后期对磷的吸收速率略有降低, 而氮、钾仍较高。随生长的进行, 氮、磷、钾在茎秆、叶片中的分配率呈降低的

趋势,在果实中的分配率则逐渐增加,成熟期时,果实中氮素、磷素、钾素分配率分别达 56.60%、55.14%、62.63%。番茄全生育期氮、磷、钾吸收比例为 4.3:1.0:4.7。

钙素、镁素在番茄苗期-开花期主要分配在茎秆、叶片中,随生长发育的进行逐渐向果实中转移,钙素在植物体内较难移动,在番茄成熟期,果实中钙素、镁素分配率分别达 19.9%、53.9%。番茄全生育期钙、镁吸收比例为 8.1:1。

番茄苗期-开花期铁素主要分配于根系与叶片中,锰素、铜素、锌素主要分配于叶片中;番茄坐果初期,根系、茎秆中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率均有所降低,叶片中除铁素分配率略有提高外,其他微量元素分配率均有所降低;番茄坐果后期根系、茎秆、叶片中铁素、锰素、铜素、锌素的分配率均有所降低,逐渐向果实转移;至成熟期,果实中铁素、锰素、铜素、锌素分配率分别达 31.8%、19.0%、27.8%、9.0%。番茄全生育期对铁素需求较大,锌素、锰素次之,铜素最少,吸收比例为 38.6:2.9:1:2.0。

参考文献:

- [1] Dorais M, Ehret D L, Papadopoulos A P, et al. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer [J]. *Phytochemistry Reviews*, 2008, 7 (2): 231-250.
- [2] Slimestad R, Verheul M. Seasonal variations in the level of plant constituents in greenhouse production of cherry tomatoes [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53 (8): 3114-3119.
- [3] 魏保国,王明友.生物菌肥对设施连作番茄生长及产量和品质的影响[J].*北方园艺*,2014(2):172-175.
- [4] 王娜.氮、磷、钾元素对马铃薯生长作用与吸收后分配规律[J].*新农业*,2018(11):14-15.
- [5] 王立峰.滴灌条件下施氮时期对花生生理特性、产量和品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2016.
- [6] 徐坤,郑国生,王秀峰.施氮量对生姜群体光合特性及产量和品质的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2001,7(2):189-193.
- [7] 段文学,张海燕,解备涛,等.甘薯茎叶徒长对氮肥的响应及其表征指标研究[J].*山东农业科学*,2018,50(2):33-37.
- [8] 毕俊国.粳稻植酸磷和矿质元素积累的氮磷肥调控效应研究[D].南京:南京农业大学,2012.
- [9] 贾友江.磷肥的合理施用[J].*磷肥与复肥*,2011,26(5):12,35.
- [10] 李春华,汪吉东,张辉,等.磷缺乏对不同甘薯品种根系生长及磷素吸收的影响[J].*江苏农业学报*,2019(1):91-95.
- [11] 吕秀茹.番茄需肥特点及配方施肥技术[J].*吉林农业*,2013(11):72-72.
- [12] 崔亚胜,张颖.番茄施肥技术[J].*西北园艺(蔬菜专刊)*,2013(2):46-47.
- [13] 夏广清,杨金.钙镁肥不同用量对番茄植株和果实矿质元素吸收的影响[J].*北方园艺*,2005(2):44-45.
- [14] 杨竹青.钙镁肥对番茄产量品质和养分吸收的影响[J].*土壤肥料*,1994(2):14-18.
- [15] Grimme R D. Breeding for nutritional characteristics in cereals [J]. *Advances in Plant Nutrition*, 1984, 1: 57-102.
- [16] 陆景陵.植物营养学[M].北京:中国农业大学出版社,1994.67-72.
- [17] 郭世荣.无土栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.90-111.
- [18] 高志奎,李明.蔬菜栽培学各论[M].北京:中国农业科学技术出版社,2006.11-22.
- [19] 王萍.生育期营养液浓度调控对番茄生长、产量及品质的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [20] 宋春风,徐坤.芋对氮磷钾吸收分配规律的研究[J].*植物营养与肥料学报*,2004,10(4):403-406.
- [21] 刘连涛,李存东,孙红春,等.氮素营养水平对棉花不同部位叶片衰老的生理效应[J].*植物营养与肥料学报*,2007,13(5):910-914.
- [22] 范伟国,杨洪强,韩小娇.低磷胁迫下平邑甜茶根构型与磷吸收特性的变化[J].*园艺学报*,2007,34(6):1341-1346.
- [23] 万惠燕,刘嘉杰,王金祥,等.磷空间有效性对拟南芥根形态构型的影响[J].*植物生理学通讯*,2007,43(3):425-429.
- [24] 高云新,王成中,杨大海,等.氮、磷、钾对水稻的生理作用[J].*吉林农业*,2012(1):70.
- [25] 王惠群,萧浪涛,李合松,等.矮壮素对马铃薯中薯3号光合特征和磷素营养的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2007,13(6):1143-1147.
- [26] Jenkins P D, Mahmood S. Dry matter production and partitioning in potato plants subjected to combined deficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium [J]. *Annals of Applied Biology*, 2003, 143 (2): 215-229.
- [27] 田歌,王芬,彭玲,等.不同供钾水平对平邑甜茶幼苗生长及NO₃吸收利用特性的影响[J].*应用生态学报*,2017,28(7):2254-2260.
- [28] Pettigrew W T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton [J]. *Physiologia Plantarum*, 2008, 133 (4): 670-681.
- [29] Hepler P K. Calcium, a central regulator of plant growth and development [J]. *Plant Cell*, 2005, 17: 2142-2155.
- [30] 张德健,夏仁学,曹秀.矿质养分和激素对根毛生长发育的影响及作用机制[J].*植物营养与肥料学报*,2016,22(3):802-810.
- [31] 马晓丽,刘雪峰,杨梅,等.镁肥对葡萄叶片糖、淀粉和蛋白质及果实品质的影响[J].*中国土壤与肥料*,2018(4):

- 114-120.
- [32] 周世恭. 植物的矿质营养与人类健康 [J]. 植物杂志, 1992 (5): 41-42.
- [33] 陆景陵. 植物营养学 (第2版, 上册) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [34] 孙颖, 胡志强. 微量元素的生理功能及其在农业生产中的应用 [J]. 松辽科学 (自然科学版), 2001 (2): 74-76.
- [35] 施益华, 刘鹏. 锰在植物体内生理功能研究进展 [J]. 江西林业科技, 2003 (2): 26-28.
- [36] 饶立华. 植物矿质营养及其诊断 [M]. 北京: 农业出版社, 1993. 30-35.
- [37] 何新华. 植物中的铁素营养 [J]. 植物学通报, 1992, 9 (4): 24-28.
- [38] 薛玲, 吴洵耻, 姜广正. 枯萎根腐病与某些矿质元素营养的关系 [J]. 山东农业大学学报, 1994, 25 (2): 189-192.
- [39] 阎龙民, 车勇. 某些矿物质元素与枯萎根腐病的关系 [J]. 特产研究, 2000 (2): 37-38, 43.
- [40] 牟咏花. 钙的生理功能及在果蔬生理中的重要性 [J]. 浙江农业学报, 1995, 7 (6): 499-501.
- [41] 唐瑞宝, 荆至成, 余崇祥. 不同微量元素配施对烟草产量和品质的影响 [J]. 湖南农业科学, 1994 (2): 30-31.
- [42] 王艳, 孙杰, 吴俊兰. 锌、锰、钼微量元素营养对大豆产量品质的影响 [J]. 山西农业大学学报, 1997, 17 (2): 116-119.
- [43] 许宗林, 叶德宪, 艾应伟. 复合型缓释微肥-通丰20对农作物品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10 (4): 507-508.
- [44] 杜长玉, 高明旭, 刘全贵. 不同微肥在马铃薯上应用效果的研究 [J]. 中国马铃薯, 1993 (3): 141-144.

Study on the absorption law of nitrogen, phosphorus, potassium and trace elements of tomatoes

CHU Yu, LUO Hong-yi*, LIN Ju-mei, ZUO Shi-fu, ZHANG Xi-qi, CHEN Tang-xin, XU Zhen, WANG Zhi-yuan (School of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018)

Abstract: The growth characteristics of tomatoes and the absorption and distribution of N, P, K and trace elements among different parts of tomato plant were studied through field experiments. The root system, stalks, leaves, fruits of tomatoes N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn contents were tested in order to find the absorption of mineral elements in each period of tomatoes. With the growth of tomato, the distribution rate of N, P, K and trace elements in roots, stalks and leaves decreased, while the distribution rate of all elements in fruits continued to increase. The distribution rates of N, P and K were 44.89%, 56.73% and 54.25%, Ca and Mg were 19.9% and 53.9%, Fe, Mn, Cu and Zn were 31.8%, 19.0%, 27.8% and 9.0%, respectively, at the mature period of tomatoes. The N, P and K absorption ratio of tomatoes was 3.0:1.0:4.7; the absorption ratio of Ca and Mg was 8.1:1; the absorption ratio of Fe, Zn, Mn and Cu was 38.6:2.9:1:2.0.

Key words: tomatoes; nitrogen, phosphorus, potassium; calcium, magnesium; iron, manganese, copper, zinc; absorption distribution