

# 基于叶片元素的配方施肥对草莓产量和品质的影响

石琨<sup>1,2</sup>, 滑昕<sup>3</sup>, 张运涛<sup>1,2</sup>, 王桂霞<sup>1,2</sup>, 钟传飞<sup>1,2</sup>, 董静<sup>1,2</sup>

(1. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093; 2. 北京市草莓工程技术研究中心, 北京 100093;

3. 北京百利农业发展有限公司, 北京 102211)

**摘要:**为了探讨以草莓叶片元素为参考得出的施肥配方对草莓果实产量和可溶性固形物含量(SSC)的影响,以草莓品种“圣诞红”为试材,先利用叶片元素分析法测定草莓矿质元素的含量,确定了3种施肥配方(配方1、2、3),进而利用比例注肥泵的水肥一体化系统对温室中栽培的“圣诞红”进行施肥和管理。通过定期检测果实SSC和统计产量来评价配方效果。结果表明:利用配方1、2、3施肥管理的草莓果实在总产量、平均单株产量、平均单株果数和单果质量上都显著高于常规施肥方式下草莓果实的各参数( $P < 0.05$ );配方3施肥下,草莓在果实产量、平均单株产量和单果质量上高于配方1和配方2施肥下的果实;配方2施肥下的草莓SSC最高,但与配方1和配方3施肥下的草莓SSC无显著差异。说明草莓种植时更适合满足其自身需求的营养元素供给,以草莓叶片矿质元素分析为依据的施肥配方明显提高了其果实产量和SSC,多组比例注肥泵并联使用保证了其配方肥料的均衡比例和投加的精准度,该方法更具科学和合理性,具有应用推广前景。

**关键词:**草莓;叶片分析法;配方施肥;产量;可溶性固形物;比例注肥泵

**中图分类号:**S 668.406<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)12-0021-05

草莓(*Fragaria × ananassa* Duch.)具有营养价值高、生产周期短、效益高和采摘期长的优点<sup>[1]</sup>。草莓种植时期的科学施肥和管理,是提高果实产量和品质,实现高收益的关键环节。现代草莓水肥一体化技术是指在有压水源条件下,借助适宜的施肥装置,在灌溉水中通入肥料,将灌溉与施肥融为一体的先进农业技术。该技术通过管道和水肥一体化系统,将混合后的肥水适时、适量地直接输送到草莓根部附近的土壤中,从而满足草莓生长发育阶段对养分和水分的需求<sup>[2-4]</sup>;同时,它对提高水肥利用效率、减少环境污染和节省人力上都具有重要的意义<sup>[5]</sup>。

适宜的水肥条件有利于植株的协调生长<sup>[6]</sup>,在草莓现代自动化水肥管理系统中,添加在水中的施肥配方选择对草莓果实的生长发育尤为关键。已有研究表明,水肥一体化的施肥管理方式可提高草莓的产量<sup>[7]</sup>。但生产者在施肥配方的选择上普遍存在盲目性,缺乏具体的科学依据。

植物叶片是光合产物的生产和供应源,为果实的品质和产量形成提供营养基础<sup>[8]</sup>。应用叶片分析技术对果树矿质营养状况进行研究是果树施肥的基础。叶片是整个植株上对土壤矿质营养反应最敏感的器官,它既是地下运输来的矿质营养贮存库,又是果实生长发育所需矿质营养的供给源<sup>[9]</sup>。而目前以叶片元素分析为依据,对草莓施肥配方进行设计和评估及其对草莓产量和品质的影响在国内尚鲜见报道。为了客观评价基于叶片元素分析得出的施肥配方效果,探讨该配方施肥下的现代水肥一体化技术在草莓种植上的应用表现,该试验通过分析叶片元素含量设计3个施肥配方,利用比例注肥泵实现水肥一体化,系统地对草莓植株进行营养供给,最终通

**第一作者简介:**石琨(1986-),女,博士,研究方向为草莓栽培技术及生理。E-mail:shikun1212@aliyun.com

**责任作者:**张运涛(1963-),男,博士,研究员,研究方向为草莓资源和育种及配套栽培技术。E-mail:zhytao1963@126.com

**基金项目:**政府间国际科技创新合作重点专项资助项目(2016YFE0112400)。

**收稿日期:**2017-03-13

过获得的果实产量、产量结构和可溶性固形物含量(soluble solids content, SSC)评价配方,以期为草莓科学用肥提供参考依据,从而充分发挥其丰产优质潜质。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试草莓品种为“圣诞红”。

### 1.2 试验方法

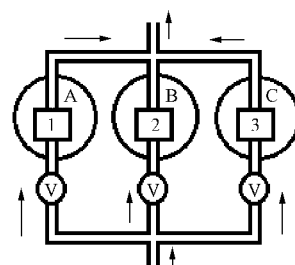
**1.2.1 定植处理** 试验在北京市昌平区草莓基地日光温室内进行,温室均为后砖墙前钢架薄膜结构,长 50 m、宽 8 m。草莓苗于 9 月 5 日定植,采用高垄栽培,垄高 40 cm,垄面宽 40 cm。每垄上 2 行,株距 20 cm,“之”字形栽培,每 667 m<sup>2</sup> 定植 7 200 株。苗定植初期至盛花期间,温室内温度控制在 5~27 ℃(白天最高温度 27 ℃,夜间最低温度 5 ℃);坐果期温度控制在 5~25 ℃。

**1.2.2 试验设计** 试验分 2 年进行,首年在温室内种植草莓,施肥方式为常规施肥法(即间歇施肥,平均 15 d 施肥 1 次后灌清水 1~2 次,再进行下一次施肥)。于盛花期(首年 12 月至翌年 1 月)在温室内前、中、后部各选生长健康的 3 垄植株,从中随机采集成熟和无机械损伤的叶片用于叶片元素分析,进而设计施肥配方。翌年对草莓苗的种植和管理与首年相同,利用设计好的配方配制肥料,在温室中部选取草莓植株作为试验对象进行施肥管理,从 12 月至翌年 5 月定期测量样本的 SSC、产量、单株产量、单株果数和单果质量。

**1.2.3 施肥配方的确定** 根据叶片元素的矿质成分含量,先确定 3 个肥料配方内的钙、镁、硫;再根据配方中所选的化合物成分确定氮、磷、钾;微量元素采用相同含量。

**1.2.4 配方水肥一体化管理** 采用美国 Dosmatic Aquablend 比例注肥泵配合滴灌施肥,该注肥泵可调节的肥料投加比例为 0.2%~2.0%。3 套注肥泵与主输水管道采用并联方式,如图 1 所示。通过调节注肥泵的投加比例,同时吸取肥料母液桶 A、B、C 内的肥料母液,至工作液桶加满时完成工作液的配制,最后使用工作液滴灌施肥草莓植株(图 2)。利用空气泵将空气鼓吹至工作液中,使工作液充分混匀,系统中的工作液酸碱度(pH)和电导率(EC)需达到草莓植株生长各时期设定的目标值(表 1)。草莓苗定植后 7 d 内灌清水,每次灌溉量根据天气情况酌情调整。之后每次滴灌均添加肥料,每 7~10 d 按各配方滴灌施肥 1 次,各时期施肥工作液参数见表 1。另选

用肥料 NovaNPK19-19-19(以色列化工集团)按照常规施肥方式对对照组草莓苗进行管理。

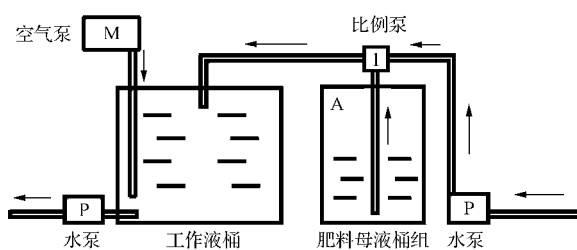


注:1、2、3 分别代表肥料母液桶上的比例注肥泵, V 代表阀门。

Note:1,2,3 represent the proportioning injector respectively, V, valve.

图 1 比例注肥泵与主管道连接示意图

Fig. 1 Diagram of connection of the proportioning injectors and main pipes



注:肥料母液桶组包含 A、B、C 3 个母液桶,2 个水泵前分别配有过滤系统。

Note:Mother liquor buckets of fertilizer include three buckets (A,B and C). Two filtration systems are installed in front of the pumps (P).

图 2 水肥一体化系统工作示意图

Fig. 2 Working schematic diagram of the integrated management of water and fertilizer

表 1 草莓生长各时期施肥的工作液参数

Table 1 Working liquid parameters of fertilization in each growing stage of strawberry

| 时期<br>Period  | pH  | 电导率<br>Electrical conductivity<br>/(mS·cm <sup>-1</sup> ) | 肥料桶投加比例<br>Volume ratio of each bucket of fertilizers<br>A : B |
|---|-----|---|--|
| 定植初期<br>Beginning of the planting                     | 6.5 | 0.8   | 1 : 1  |
| 始花期至盛花期<br>First-flowering stage-<br>full-bloom stage | 6.5 | 1.0   | 1 : 1  |
| 坐果期<br>Fruit-setting period                           | 6.5 | 1.2   | 1 : 1  |

注:A、B 桶配方参照结果中的肥料配方。

Note:Fertilization formulas of bucket A and B are in the results.

## 1.3 项目测定

1.3.1 叶片元素分析 将采集的叶片洗净后烘干,然后研磨成粉末,分别称取 20 g 为一个样品,根据采集的不同位置(前、中和后),标记为 1、2、3,各样品矿质元素的定量分析测定均按照国家标准:LY/T 1269-1999,LY/T 1270-1999 和 LY/T 1273-1999 进行(北京 PONY 测试有限公司)。

1.3.2 评估指标的测定 在 3 种配方水肥模式下,每种配方试验 1 垄(每垄 60 株,占地 2.4 m<sup>2</sup>),重复 3 次,另取 3 垄作为对照组。自草莓成熟之后每 2 d 采收 1 次,记录总产量;取草莓果实尖部 2 cm 的果肉,挤出果汁于 ATAGO PAL-1 折光仪(日本 Atago 公司生产)检测室进行 SSC 测定;计算平均单株产量,平均单株果数和平均单果质量。

## 1.4 数据分析

数据采用 Excel 2013 软件制图,采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

## 2.1 草莓叶片元素含量和肥料配方设计

采取的草莓叶片样品经检测,叶片中各元素含量见表 2。由 3 个样品各元素含量,得出肥料配方中各元素的需求量。先确定 3 个肥料配方内含 Ca、Mg、S 化合物的含量,再确定大量元素 N、P、K 的化合物成分和含量。由于某些元素阳离子易和特定阴离子发生化学反应,钙离子肥料需要规避磷酸根、硫酸根离子,综合考虑后将肥料分配到 3 个母液桶中,得出 3 种施肥配方见表 3。其中 A、B 桶用于溶解固体肥料并调节工作液的 EC 值,C 桶溶解硝酸来调节工作液的酸碱度 pH。微量元素肥料(Na、Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo)需求量少,3 个配方内的微量元素采用相

表 2 草莓叶片元素含量

| Table 2 Element content of the leaves of strawberry $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ |                        |         |         |         |
|---|------------------------|---------|---------|---------|
| 营养元素  | 叶片样品 Samples of leaves |         |         |         |
| Nutrients   | 1                      | 2       | 3       |         |
| 大量元素<br>Macroelements   | N                      | 27 749  | 28 625  | 27 967  |
|   | K                      | 8 136   | 10 925  | 8 867   |
|   | Ca                     | 5 328   | 7 127   | 5 794   |
|   | P                      | 4 796   | 6 813   | 5 134   |
|   | Mg                     | 1 922   | 2 192   | 1 990   |
|   | S                      | 1 712   | 2 147   | 1 798   |
| 微量元素<br>Microelements   | Fe                     | 154.17  | 226.30  | 168.72  |
|   | Na                     | 129.3   | 143.8   | 116.1   |
|   | Mn                     | 85.61   | 117.10  | 90.12   |
|   | Zn                     | 34.59   | 40.67   | 36.71   |
|   | B                      | 34.36   | 42.20   | 37.45   |
|   | Cu                     | 4.685   | 6.584   | 5.153   |
|   | Mo                     | 0.885 4 | 1.097 0 | 0.962 7 |

同含量。将它们配制成浓缩母液,施肥时再按照配方需求量将浓缩液加入至肥料桶中。

由表 3 中的肥料配方,得出 3 种配方肥料总量和大量元素所占比例,如表 4 所示。可以看出,配方 2 在同样体积肥料母液桶中添加的肥料总量最多,它相对于其它 2 个配方,其 N 含量所占比例较低,而 P、K、Ca 含量所占比例最高。此外该试验得到的 3 种配方中,Ca 含量所占比例相对都较高。说明 Ca 作为草莓生长所需的重要元素,是除 N、P、K 外需求量最多的。

表 3 基于叶片元素设计的水肥一体化施肥配方

Table 3 Fertilization formulas based on leaf element in water and fertilizer integration technology

| 母液桶类型<br>Types of mother liquor buckets | 肥料种类<br>Fertilizers                                  | 用量 Dosage/(g · m <sup>-3</sup> ) |        |        |
|---|--|----------------------------------|--------|--------|
|   |  | 配方 1                             | 配方 2   | 配方 3   |
| A                                       | Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                    | 21 840                           | 29 220 | 23 760 |
|   | KNO <sub>3</sub>                                     | 5 440                            | 6 100  | 6 240  |
|   | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                      | 3 650                            | 3 630  | 3 550  |
|   | EDTA · Fe  | 180                              | 180    | 180    |
| B                                       | MgSO <sub>4</sub>                                    | 9 610                            | 10 960 | 9 950  |
|   | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                      | 21 500                           | 30 550 | 23 020 |
|   | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                       | 32                               | 32     | 32     |
|   | MnSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O                 | 85                               | 85     | 85     |
|   | Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O | 4                                | 4      | 4      |
|   | ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O                | 21                               | 21     | 21     |
|   | CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O                | 10                               | 10     | 10     |
| C                                       | HNO <sub>3</sub> * /L                                | 2.5                              | 2.5    | 2.5    |

注: \* 肥料桶 C 中为 60% 浓硝酸。

Note: \* 60% concentrated nitric acid in bucket C.

表 4 肥料配方中主要元素所占比例

Table 4 Ratio of the major element in three fertilizer formulas

| 配方类型<br>Types of fertilizer | 1 m <sup>3</sup> 总量<br>Total content of 1 m <sup>3</sup> /g | 各元素所占比例<br>Proportion of the elements/% |      |       |      |      |
|-----------------------------|---|---|------|-------|------|------|
|                             |   | N                                       | P    | K     | Ca   | Mg   |
| 1                           | 62 372  | 9.24                                    | 7.86 | 13.26 | 8.55 | 3.08 |
| 2                           | 80 792  | 8.79                                    | 8.61 | 13.75 | 8.82 | 2.71 |
| 3                           | 66 852  | 9.22                                    | 7.85 | 13.48 | 8.67 | 2.97 |

## 2.2 配方施肥和常规施肥方式下草莓果实产量和 SSC 比较

由图 3 可以看出,配方施肥比常规施肥的草莓增产显著( $P < 0.05$ );配方 1 和配方 3 施肥下的草莓产量又显著高于配方 2 施肥下的草莓产量( $44.42 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )( $P < 0.05$ )。配方 3 的产量最高,为  $48.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,高于配方 1 的  $48.60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,远高于对照的  $37.98 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,但配方 3 和配方 1 之间差异不显著( $P > 0.05$ )。

从表 5 可以看出,3 种配方施肥下草莓在平均

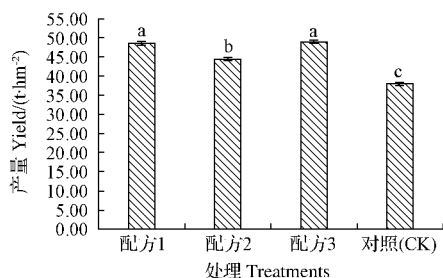


图3 不同施肥配方下草莓果实产量比较

Fig. 3 Comparison of fruit yield under different fertilizer formulas

单株产量、平均单株果数和平均单果质量上均显著高于对照组( $P < 0.05$ )。其中,配方3施肥下的草莓平均单株产量为453.1 g,平均单果质量为23.2 g,均达到最高值;配方1施肥下的各数值其次,配方2的较低。

表5 不同施肥配方下草莓产量结构比较

Table 5 Comparison of yield components under different fertilizer formulas

| 配方类型<br>Types of<br>fertilizer | 平均单株产量<br>Average yield<br>per plant/g | 平均单株果数<br>Fruit number<br>per plant/个 | 平均单果质量<br>Average single<br>fruit weight/g |
|--------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 1                              | 450.0 ± 4.4a                           | 19.7 ± 0.9a                           | 22.8 ± 0.9ab                               |
| 2                              | 411.3 ± 3.0b                           | 18.9 ± 0.7a                           | 21.8 ± 0.7b                                |
| 3                              | 453.1 ± 4.5a                           | 19.5 ± 0.4a                           | 23.2 ± 0.3a                                |
| 对照(CK)                         | 351.7 ± 2.5c                           | 17.2 ± 0.6b                           | 20.4 ± 0.6c                                |

注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。Note: The different lowercase letters in the same line mean significant difference ( $P < 0.05$ ).

从图4可以看出,配方1、2、3施肥下,草莓果实SSC都显著高于对照施肥模式的SSC( $P < 0.05$ );其中,配方2施肥下的草莓平均SSC最高,为13.66%,其次为配方1和配方3,但3种配方施肥下的SSC无显著差异( $P > 0.05$ )。

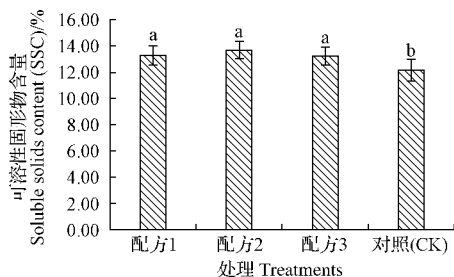


图4 不同施肥配方对草莓可溶性固形物含量的影响

Fig. 4 Effect of the soluble solids content under different fertilizer formulas

### 3 结论与讨论

该研究基于草莓叶片元素分析进行其肥料配方设计,进而利用所得配方结合比例注肥泵水肥一体化系统进行施肥效果的初步探索,具有创新性。结果显示,3个施肥配方管理下的草莓植株在果实产量和SSC方面均明显优于常规商品肥施肥管理的草莓植株,其中,配方3的草莓产量优势最高,配方2其次,这2种施肥配方对于草莓规模化生产有应用价值。在草莓SSC方面,配方2具有优势,这可能由于配方2中P、K和Ca肥所占比例相对高,使该配方下的草莓果实品质提高,该配方对于追求草莓品质的生产者有参考价值。CAO等<sup>[10]</sup>研究发现,成熟草莓果实中SSC与磷含量呈正相关。王凤文<sup>[11]</sup>在微量元素对草莓产量与品质的影响研究中报道,钙肥能提高草莓的产量和可溶性固形物含量。杨莉等<sup>[12]</sup>研究认为,钾在草莓果实发育过程中一直维持较高水平,它在果实品质形成中起重要作用。配方2中N肥含量较低,可能影响了N、P、K等肥料的肥力平衡,而P、K含量超过一定量后可能与果实产量和产量结构呈负相关<sup>[13-14]</sup>。这可能是在配方2管理下草莓植株果实产量和产量结构小于配方1和配方3管理下的草莓植株相应参数的原因。果实营养依赖植株叶片营养对其运输,以叶片元素分析结果为参考依据的配方比常规肥料配方显著提高了草莓果实的产量和品质,这说明草莓种植中更适合满足其自身需求的营养元素供给,而非广谱性商品肥。该研究建立了一种新的草莓施肥配方的设计方法,即根据盛花期正常生长的草莓植株体内的各元素含量,确定施肥配方的成分。基于叶片元素分析的配方施肥在草莓水肥一体化施肥应用上更具科学和合理性。

比例注肥泵利用输水管道中的压力差,将肥料母液吸入系统,通过调节其投加比例和压力阀门,可控制吸入肥料母液的体积。比例注肥泵无需电力,安装简便,可灵活组合。该水肥一体化系统中以工作液EC值为施肥的参考依据,可实现肥料的精准投加。多组比例注肥泵并联使用,可实现多种肥料投加的同步化,实现独立控制和肥效持久保持均衡。以此为载体之水肥一体化生产模式,可节约人工70%左右且肥料利用率提高30%以上,节本增效显著<sup>[15]</sup>。该研究中比例注肥泵组合结合元素分析配方施肥的水肥一体化技术在设施草莓的高产量和高品质种植上有较好的应用、推广和发展前景。

(该文作者还有常琳琳、孙瑞,单位同第一作者。)

## 参考文献

- [1] 张运涛,雷家军. 草莓研究进展 IV[M]. 北京:中国农业出版社,2015.
- [2] BAR-YOSEF B. Advances in fertigation[J]. Advances in Agronomy, 1999, 65: 1-77.
- [3] AJDARY K, SINGH D K, SINGH A K, et al. Modelling of nitrogen leaching from experimental onion field under drip fertigation[J]. Agricultural Water Management, 2007, 89: 15-28.
- [4] 郭月华,朱浩峥. 水肥一体化技术在设施草莓上的应用技术体系研究与探析[J]. 特种经济动植物, 2016(6): 46-47.
- [5] 赵友俊. 水动比例注肥泵的研制[J]. 现代农业装备, 2011(8): 48-50.
- [6] 宰松梅. 水肥一体化灌溉模式下土壤水分养分运移规律研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2010.
- [7] 许乃霞,杨益花,单建明,等. 水肥一体化施肥对草莓产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(3): 52-53, 56.
- [8] FROMMER W B, SONNEWALD U. Molecular analysis of carbon partitioning in solanaceous species[J]. Exp Bot, 1995, 46(287): 587-607.
- [9] 梁瀛,孔婷婷,岳朝阳,等. 和田石榴叶片主要矿质元素含量变化分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2661-2665.
- [10] CAO F, GUAN C Y, DAI H Y, et al. Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 195: 183-187.
- [11] 王凤文. 微量元素 Ca、Zn、Fe 对草莓产量与品质的影响[J]. 白城师范学院学报, 2009, 23(3): 66-70.
- [12] 杨莉,李莉,杨雷,等. 草莓果实发育过程中 Ca、K、Fe、P 的变化动态研究[J]. 西南农业学报, 2007, 20(5): 1048-1050.
- [13] 李港丽,苏润宇,沈隽. 从叶分析结果试论提高我国几种落叶果树产量和品质的问题[J]. 中国农业科学, 1988, 21(2): 56-63.
- [14] 刘红,杨彦宏. 大棚草莓平衡施肥研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 21(6): 36-39.
- [15] 李建勇,沈海斌,朱恩,等. 上海市蔬菜水肥一体化技术应用现状及发展对策[J]. 中国蔬菜, 2016(8): 10-13.

## Effects of Fertilization Formulas Based on Leaf Elements in Water and Fertilizer Integration Technology on Yield and Quality of Strawberry

SHI Kun<sup>1,2</sup>, HUA Xin<sup>3</sup>, ZHANG Yuntao<sup>1,2</sup>, WANG Guixia<sup>1,2</sup>, ZHONG Chuanfei<sup>1,2</sup>, DONG Jing<sup>1,2</sup>, CHANG Linlin<sup>1,2</sup>, SUN Rui<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093; 2. Beijing Engineering Research Center for Strawberry, Beijing 100093; 3. Beijing Bailey Agricultural Development Co. Ltd., Beijing 102211)

**Abstract:** To assess the formulated fertilization based on leaf elements on yield and soluble solids content (SSC) of strawberry fruit. Strawberry cultivar ‘Ssanta’ was used as test material, three kinds of fertilization formulas (FF 1, 2, 3) were obtained from leaf element analysis which was used to test the content of mineral elements of strawberry leaves. Combine with proportional injection pump system in water and fertilizer integration, ‘Ssanta’ was cultured and managed in greenhouse. The effects of the formulas were evaluated by regular testing for fruit SSC, yield and yield components. The results showed that under the fertilization management of FF 1, 2, 3, total yield, average yield per plant, fruit number per plant and single fruit weight of strawberry were significantly higher than the conventional way ( $P < 0.05$ ). The total yield, average yield per plant and single fruit weight were higher when used FF 3 than used FF 1 and FF 2. The SSC under FF 2 was the highest while there was no significant difference with FF 1 and FF 3. The results indicated that strawberry planting fertilization was more suitable to meet their own needs nutrients supply. The formulas of fertilization based on strawberry leaf mineral element analysis was significantly increased the fruit yield and SSC. Multiple sets of proportional injection pump in parallel ensured the balance of the fertilizer proportion and dosing accuracy which had the application prospect of promotion. The method was more scientific and reasonable.

**Keywords:** *Fragaria × ananassa* Duch.; leaf element analysis; formulated fertilization; yield; soluble solids; water-driven proportioning injector