

亏缺灌溉对草莓生长和果实品质的影响

刘明池¹ 小岛孝之² 田中宗浩² 陈 杭¹

(¹ 北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100089; ² 佐贺大学农学部, 日本 840-8502)

摘 要: 采用负压控水系统将土壤水分控制在不同的水平上, 研究了亏缺灌溉对草莓果实特性、植株生长和产量形成的影响。随着土壤水分的降低, 植株的株高、叶片数、结果数、产量和单果质量逐步减少。不同土壤水分处理条件下果实的理化特性明显不同, 亏缺灌溉降低了果实含水量, 提高了果实硬度、可溶性固形物含量 (Brix)、滴定酸度、糖酸比、维生素 C 含量。相关分析表明, 果实的鲜样质量、直径与土壤水分含量呈显著的正相关, 而可溶性固形物含量 (Brix)、糖酸比与土壤水分含量呈显著的负相关。

关键词: 草莓; 土壤水分; 植株生长; 果实; 品质

中图分类号: S 668.4; Q 945 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2001) 04-0307-05

现代园艺技术依靠肥水的投入大大提高了作物的产量, 而消费者越来越多地抱怨现在的园艺产品缺乏风味。有研究表明, 肥料和水分是影响园艺产品质量和品质的主要因素^[1]。灌水增加了作物的产量, 却降低了果实内糖和有机酸等可溶物的含量以及干物质的含量^[2]。近几年, 一些研究者开始尝试研究新的灌水管理技术——不足额灌溉或者称亏缺灌溉 (Deficit irrigation, DI), 即通过适度控制土壤水分, 给作物一个适中的干旱逆境, 以此来提高果实的品质^[3]。DI 技术目前主要集中在番茄上, 可以提高果实内糖、有机酸、维生素 C 等可溶物的含量以及干物质的含量, 但是普遍伴随着一定程度的产量降低^[4,5]。如何完善 DI 技术, 使之在提高产品品质的前提下保证产量在人们接受的范围内, 是这一技术研究的关键。

草莓由于生长快速、结果能力高和根系较浅, 其生长发育很容易受到根系水分、温度等环境条件的影响^[6]。DI 技术用于草莓上的研究还未见报道。本试验采用新开发的负压自动控水系统^[7]将土壤水分控制在不同的水平上, 研究其对草莓果实物理化学特性、植株生长和产量形成的影响, 为其优质、高效生产提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料和试验处理

试验用草莓 (*Fragaria ananassa* Duch.) ‘佐贺二号’ (‘丰香’的改良品种) 种植在日本佐贺大学试验农场, 于 1999 年 1 月 25 日将长至四叶一心的幼苗定植于高架栽培槽中。栽培槽的长、宽、高分别为 90、14 和 12 cm, 种植的株距为 20 cm。每栽培槽种植 5 株。草莓第一花序果实膨大、果色开始转白期前, 所有处理土壤湿度都控制土壤水分张力 (pF) 在适合草莓生长的 1.5~2.0, 开始转白后 4 种处理分别控制 pF 1.0~1.5 (高), pF

收稿日期: 2000-12-15; 修回日期: 2001-03-19

1.5~2.0 (中), pF 2.0~2.5 (低) 和 pF 2.5~3.0 (极低) 4 个水平, 各重复 3 次。其中 pF 1.5~2.0 (中) 为草莓生产中普遍采用的水分管理。本研究采用刘明池等^[7]开发的陶瓷管负压灌水自动控制系统自动调控土壤水分。pF 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 时土壤的含水量分别为 44.2 %、37.6 %、32.1 %、27.2 %、22.9 %。

每天早晨 8 时用土壤水分张力计 (pF 计) 检测土壤中的水分含量。陶瓷管内循环水采用营养液, 为日本 Otuka 株式会社的 C 配方, 营养成分 (mg/kg) 为: TN (总氮), 258; AN (氨态氮), 23; NO₃-N, 221; P₂O₅, 138; K₂O, 440; CaO, 184; MgO, 75; MnO, 1.5; B₂O₃, 1.5; Fe, 2.7。营养液用自来水配制, EC 为 2.2~2.3 mS/cm, pH 6.5。

1.2 调查和测定

于 1 月和 3 月的第一和第二花序期分 4 次于早上 8 时取样。每处理采摘 8~10 个颜色相近的完好成熟果实在 1 °C 下预冷 2 h。将预冷后的果实称重、测量直径后, 按照 Kojima^[8]方法, 利用食品硬度物性通用测定仪 (Tensilon model UTM-4L, Toyo Measuring Instruments Co., Ltd.) 测定草莓硬度。利用 ATAGO 数字折射计 PR-1 测定草莓汁液的可溶固形物含量 (Brix)。利用可溶性糖含量测定时制备的离心上清液, 通过滴定酸度来测定果实有机酸含量 (取 10 mL 上清液用 0.1 mol/L 的 NaOH 滴定至 pH 8.1, 将所消耗 NaOH 的量换算后, 以柠檬酸的百分含量来表示)。维生素 C 含量采用 Tono^[9]提出的差分分析分光光度计法测定。对第二花序 60 个果实的理化品质数据与土壤水分含量的相关性进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分条件下草莓植株的长势

3 月 10 日第二花序结果结束时对所有植株的长势进行调查, 结果见表 1。很明显, 随着土壤水分的减少, 植株的株高、叶片数、小叶的长与宽逐渐减小, 植株长势受到抑制。经邓肯氏新复极差显著性测定, 所有处理差异均达到极显著水平。植株单株鲜样质量、干样质量也表现为相同的趋势, 但最大生物学产量不是在最高水分处理, 而是在适宜的水分处理中获得的。虽然高水分处理的植株的株高、叶片数最高, 但由于其生长过于繁盛, 叶片较薄, 其植株单株鲜样质量、干样质量反而不如适宜水分处理的高。

表 1 不同土壤水分条件下草莓植株的长势

Table 1 Plant growth under different soil moisture

土壤水分处理 Soil moisture (pF)	株 高 Plant height (cm)	叶片数 Number of leaves	叶片长 Leaf length (cm)	叶片宽 Leaf width (cm)	单株鲜样质量 FM of plant (g)	单株干样质量 DM of plant (g)
高 High (1.0~1.5)	26.1 A	25.6 A	10.8 A	10.0 A	126.9 A	27.9 A
中 Middle (1.5~2.0)	24.3 B	19.3 B	10.2 B	9.5 B	131.6 B	30.6 B
低 Low (2.0~2.5)	19.3 C	18.6 C	9.7 C	9.1 C	99.2 C	25.3 C
极低 Extreme low (2.5~3.0)	15.3 D	17.0 D	9.3 D	8.9 D	71.4 D	18.5 D

注: 经邓肯氏新复极差法显著性测定, 大写字母为差异达到 0.01 极显著水平。

Note: Different letters indicate that the values are significantly different at 0.01 level by Duncan's multiple range test.

2.2 不同土壤水分条件下草莓果实的物理化学特性

不同土壤水分处理下, 第二序果实的理化特性明显不同, 随着土壤水分的减少, 果实

的含水量减少，而果实的硬度、可溶性固形物含量、滴定酸度、糖酸比、维生素 C 含量逐渐增加，只是糖酸比在极低土壤水分处理时反而有些下降。即亏缺灌溉降低了果实的含水量，提高了果实品质，而且水分亏缺越多，提高品质的效果越明显（图 1）。

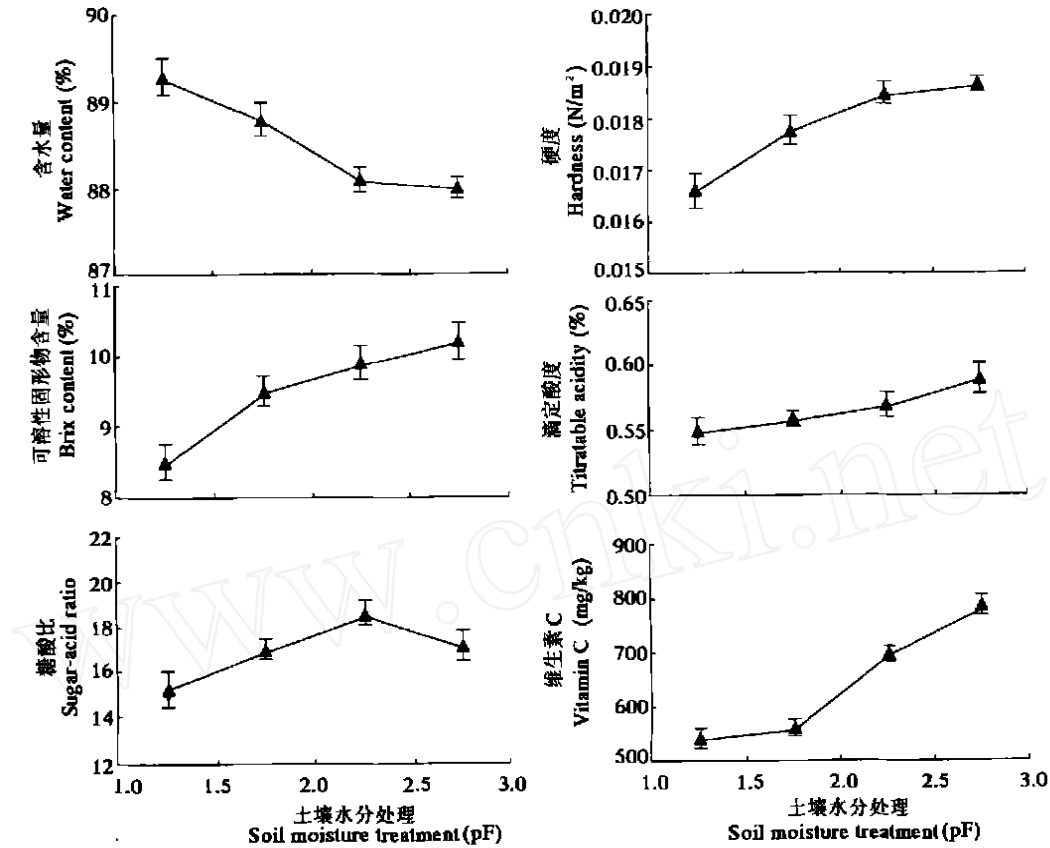


图 1 不同土壤水分条件下草莓果实的物理化学特性

Fig. 1 Physical and chemical properties of fruits under different soil moistures

2.3 不同土壤水分条件下草莓植株的结实情况

从不同土壤水分处理植株的第二花序的开花结实情况（表 2）来看，随着土壤水分的

表 2 不同土壤水分条件下草莓植株的开花结实情况

Table 2 Blossoming and fruiting of plants under different soil moisture

土壤水分处理 Soil moisture (pF)	小区产量 Yield (g)	小区结果数 Fruit number	单果质量 Average fruit mass (g)	果实直径 Fruit diameter (cm)
高 High (1.0~1.5)	505.1 A	444.7 B	355.6 C	227.1 D
中 Middle (1.5~2.0)	35.7 A	38.7 B	32.0 C	22.3 D
低 Low (2.0~2.5)	14.33 A	12.83 B	11.11 C	10.10 D
极低 Extreme low (2.5~3.0)	2.94 Aa	2.90 Ab	2.68 C	2.48 D

注：经邓肯氏新复极差法显著性测定，大写字母为差异达 0.01 极显著，小写字母为差异达 0.05 显著水平。

Note: Different letters indicate that the values are significantly different at the 0.05 level with small letters and at 0.01 level with capital letters by Duncan's multiple range test.

减少,不同处理的结果数、产量、单果质量和果实直径都表现为逐步减少的趋势。看来要获得高产,充足的灌溉必不可少。

2.4 果实的理化特性形成与土壤水分条件的相关分析

以上试验表明:不同土壤水分处理的果实物理、化学特性和结实情况明显的不同。对第2花序单个果实(共60个果实)测定的结果与土壤水分的关系进行相关分析,果实的鲜样质量、直径、含水量与土壤水分呈显著或极显著的正相关,相关系数 r 分别为 0.54^{**} 、 0.56^{**} 和 0.27^{*} ,而可溶性固形物含量、糖酸比与土壤水分呈极显著或显著的负相关, r 分别为 -0.36^{**} 和 -0.26^{*} 。果实的酸度、硬度与土壤水分的相关却不明显。草莓果实水分的含量不仅与土壤水分有关,而且与其植株的水分状况、果实着生的部位都有关系。因此,果实本身的含水量与果实物理化学特性的相关关系有待于进一步研究。

3 讨论

本试验对不同土壤水分处理的植株第一、第二花序的结实情况和果实理化特性都进行了调查测定,亏缺灌溉提高果实品质的效果对第一花序和第二花序不尽相同。对第二花序,随着土壤水分的减少,果实的含水量逐渐减少,果实的硬度、可溶性固形物含量、滴定酸度、糖酸比、维生素C含量逐渐增加,呈现规律性的变化。而第一花序可溶性固形物含量、糖酸比、维生素C含量的变化与第二花序一样,随着土壤含水量的降低而升高;而果实的含水量、硬度、滴定酸度的变化却无规律。不同土壤水分处理植株的第一、第二花序的结实情况也有差异,第二花序不同处理的结果数、产量、单果质量和果实直径,都是最高的土壤水分处理(pF 1.0~1.5)获得了最高值,而第一花序都是适宜的土壤水分处理(pF 1.5~2.0)获得了最高值,这是因为在草莓第一穗果实开始转白前,所有处理的土壤湿度都控制在适合草莓生长的pF 1.5~2.0,开始转白后才给植株以不同的土壤水分处理,从最适土壤水分突然转为高或低的土壤水分都是将植株转入涝、旱的逆境中,从而影响了植株对水分的吸收、生长、产量和品质的形成,特别是造成高土壤湿度处理的果实含水量反而降低。第一花序的果实开始转白前,果实的细胞数目和体积基本上已经定型,且都是在相同的土壤水分条件下长成的,不同的土壤水分处理只是对果实转白后的成熟过程产生了影响。而对于第二花序,果实的开花、膨大和成熟都是在不同土壤水分条件下进行的,土壤水分亏缺处理对其的影响就更深刻、更明显。由此看来,亏缺灌溉技术对西瓜、甜瓜等一次收获的瓜果作物十分适合,在采收前2~3周便可采用切断灌水的方法,对果实大小、产量影响不大,却能够明显提高果实的品质。而对于草莓、番茄等连续采收的作物,如何进行亏缺灌溉(包括亏缺灌溉开始的时间、亏缺灌溉控制的程度),寻找产量、品质 and 经济效益的最佳平衡,将是以后研究的关键。

参考文献:

- 1 Phene CJ, Hutnacher RB, Davis KR, et al. Water-fertilizer management of processing tomatoes. *Acta Hort.*, 1990, 277: 137~193
- 2 Baselga Yisarry JJ. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen applications, *Acta Hort.*, 1993, 335: 149~153
- 3 Mitchell JP, Shennan C, Grattan SR, et al. Tomato yields and quality under water deficit and salinity. *J. Amer. Soc. Hort.*

- Sci. , 1991 , 116 : 215 ~ 221
- 4 Zushi K, Matsuzoe N. Effect of soil water deficit on vitamin C, sugar, organic acid, amino acid and carotene contents of large-fruit tomato. J. Japan. Soc. Hort. Sci. , 1998 , 67 : 927 ~ 933
- 5 Ho L C, Grange R I, Picken A J. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. Plant Cell & Env. , 1987 , 10 : 157 ~ 162
- 6 Larson K D. Strawberry. In : Schaffer B, Andersen P C. Handbook of environmental physiology of fruit crops Volume 1 Temperate crops. [s. l.] CRC Press Inc. , 1994. 271 ~ 297
- 7 Liu M, Tanaka M, Tanaka A. Application of porous ceramic pipes in vegetable cultivation (Part 1) : Development of auto-controlled irrigation system with negative pressure. Journal of Society of High Technology in Agriculture , 2000 , 12 : 182 ~ 189
- 8 Kojima T. Mechanical properties and resonant vibration characteristics of fruits. Bulletin of Faculty of Agriculture , Saga University. 1983 , 55 : 1 ~ 64
- 9 Tono T, Fujita S. Spectrophotometric determination based on difference spectra of L-ascorbic acid in plant and animal foods. Agricultural and Biological Chemistry , 1982 , 46 (12) : 2953 ~ 2959

Effect of Soil Moisture on Plant Growth and Fruit Properties of Strawberry

Liu Mingchi¹, Kojima Takayuki², Tanaka Munehiro², and Chen Hang¹

(¹Beijing Vegetable Research Center, Beijing 100089; ²Faculty of Agriculture, Saga University, Saga 840-8502, Japan)

Abstract : The effects of soil moisture on the plant growth, yields, physical and chemical properties of strawberry fruit were studied by use of a new auto-irrigation system of negative pressure. It was showed that plant height, number of leaves, fruit weight, fruit diameter, fruit number and yields gradually decreased with the decreasing of soil moisture. The physical and chemical properties were apparently different under different soil moisture treatments. The Deficit Irrigation decreased water content of fruit, increased fruit hardness, soluble solid content, titratable acidity, sugar-acid ratio and the content of ascorbic acid. The correlation analysis indicated that soil moisture has a positive correlation with the fruit diameter and weight, but has a negative correlation with soluble solid content and sugar-acid ratio.

Key words : Strawberry; Soil moisture; Plant growth; Fruit; Properties

欢迎订阅 2002 年下列期刊

《中国农业资源与区划》是中国农科院资源区划所、全国农业资源区划办公室、中国农业资源与区划学会联合主办的指导性与学术性相结合的综合性刊物。双月刊、公开发行，大 16 开，64 页，自办发行。每册定价 5 元，全年 30 元。订阅款请汇寄北京海淀区中关村南大街 12 号，《中国农业资源与区划》发行组，邮编：100081，帐号：801050-14。电话（传真）：(010) 68919647，68975316。

《中国农业信息快讯》由农业部主管，中国农科院农业自然资源和农业区划研究所、中国农学会农业信息学会共同主办，国内外公开发行。月刊，国际标准开本。本刊自办发行，每册定价 5 元，全年每套 60 元。订阅者请将款汇寄到北京海淀区中关村南大街 12 号，中国农科院农业自然资源和农业区划研究所《中国农业信息快讯》杂志发行组。邮编：100081，帐号：801050-14。电话（传真）：(010) 68919647，68975316。