

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.06.015

# 膜下滴灌水肥耦合对葡萄生长发育、产量和品质的影响

王连君<sup>1</sup> 王程翰<sup>1</sup> 乔建磊<sup>1</sup> 肖英奎<sup>2</sup>

(1. 吉林农业大学园艺学院, 长春 130118; 2. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025)

**摘要:**以‘寒香蜜’葡萄为试材,开展田间膜下滴灌施肥试验,探讨膜下滴灌水肥耦合对葡萄生长发育、产量及其品质的影响。其中,灌水量设置4个水平,分别为180(W1)、270(W2)、360(W3)、450 mm(W4);施肥量设置4个水平,分别为N 150 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 165 kg/hm<sup>2</sup>(F1)、N 225 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 248 kg/hm<sup>2</sup>(F2)、N 300 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 240 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 330 kg/hm<sup>2</sup>(F3)、N 450 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 360 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 495 kg/hm<sup>2</sup>(F4),共计16个处理。试验结果表明,在灌水量为W2(270 mm)及施肥量为F2(N 225 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 248 kg/hm<sup>2</sup>)的组合处理下,葡萄新梢生长效果较好,叶片叶绿素含量在整个生育期均处于较高水平,于新梢生长期、开花期、果实膨大期和果实着色期分别达到3.28、3.77、3.65、3.53 mg/g;F3W4处理果形指数最高,但除F1W1和F1W2处理外,其他各处理间差异均不显著。此外,果实产量和品质指标表明,虽然F2W2处理对应的葡萄果实产量并不是最高,但其与产量最高的F2W3处理间差异并不显著,且F2W2处理果实品质较理想,其果实可溶性固形物含量最高,达到19.64%,果实可溶性糖质量分数和果实硬度也较优,分别为17.00%和0.71 kg/cm<sup>2</sup>。综合分析结果表明,F2W2水肥组合对稳定葡萄产量和改善果实品质有积极的意义。

**关键词:**葡萄;滴灌;养分吸收;利用效率;果实品质

中图分类号: S275.6; S663.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)06-0113-07

## Effects of Water and Fertilizer Coupling on Growth, Yield and Quality of Grape under Drip Irrigation with Film Mulching

Wang Lianjun<sup>1</sup> Wang Chenghan<sup>1</sup> Qiao Jianlei<sup>1</sup> Xiao Yingkui<sup>2</sup>

(1. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

2. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

**Abstract:** Water and fertilizer are the two important material resources in agricultural production, which are closely related to the yield and quality of crop. In order to discuss the effects of water and fertilizer coupling on growth, yield and quality of grape under drip irrigation with film mulching, the experiment of fertilization under drip irrigation with film mulching was conducted in plastic greenhouse. There were four irrigation levels with irrigation depth of 180 mm (W1), 270 mm (W2), 360 mm (W3) and 450 mm (W4), respectively; and four fertilization levels, including N 150 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 165 kg/hm<sup>2</sup> (F1), N 225 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 248 kg/hm<sup>2</sup> (F2), N 300 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 240 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 330 kg/hm<sup>2</sup> (F3) and N 450 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 360 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 495 kg/hm<sup>2</sup> (F4). A total of 16 treatments were designed. The experimental results showed that the new shoots of grape plant under the treatment F2 with W2 grew better among the treatments, and the chlorophyll content in grape leaves was at a high level in the whole growth period, which was 3.28 mg/g, 3.77 mg/g, 3.65 mg/g and 3.53 mg/g at new shoots growth, anthesis, fruit enlargement and fruit coloring stages, respectively. The fruit shape index of treatment F3 coupled with W4 was the highest among all

收稿日期: 2015-11-22 修回日期: 2015-12-10

基金项目: 吉林省现代农业产业技术体系建设项目(2015022)、国家科技部星火计划项目(2008GA661002)和吉林省科技发展计划项目(20140520161JH)

作者简介: 王连君(1962—),男,教授,主要从事设施果树高效栽培理论与技术研究, E-mail: wanglianjun8892@126.com

treatments; however, the differences between each other groups were not significant except treatments F1W1 and F1W2. In addition, the analysis of fruit yield and quality indicated that the grape fruit yield of treatment F2W2 was not the highest, but there was no significant difference between the yield of treatments F2W2 and F2W3, which got the highest yield. Besides, the fruit quality of treatment F2W2 was more perfect compared with the other treatments. The soluble solids content of fruit of treatment F2W2 was the highest among all treatments, which reached 19.64%. The soluble sugar content and hardness index of fruit of treatment F2W2 also showed advantage, which were 17.00% and 0.71 kg/cm<sup>2</sup>, respectively. Comprehensive analysis results showed that the fertilizer application rate of treatment F2 coupled with irrigation depth of treatment W2 had a positive significance on increasing yield and improving quality of grape fruit.

**Key words:** grape; drip irrigation; nutrient absorption; use efficiency; fruit quality

## 引言

葡萄是我国重要的果树,近年来,随着农业产业结构的调整,其栽培面积大幅上升。在葡萄生产过程中,水肥管理直接关系到果实的产量和品质<sup>[1]</sup>。传统的大水高肥管理模式不仅造成水资源浪费和肥料的流失,而且养分过于充足容易引起植株徒长。大量研究表明,土壤水分过高,葡萄根际土壤含氧量大幅降低,严重时会出现根系腐烂<sup>[2-3]</sup>。而在葡萄果实膨大期,灌溉量过大容易引起果实膨裂,果实含糖量降低,进而影响果实的商品价值。

膜下滴灌栽培技术将滴灌与覆膜栽培技术相结合,该技术可以根据作物在不同生长发育阶段的水需肥特性,适时适量地将水分和养分通过滴灌输送到作物根区,并且还能大幅降低作物棵间蒸发量,显著提高水肥的利用效率<sup>[4-6]</sup>。因此,膜下滴灌栽培技术近年来在农业生产中得到了广泛的应用<sup>[7-11]</sup>。

在葡萄生产中,要实现土壤水肥的精确管理,必须探明葡萄的水肥需求特性。目前,国内外关于葡萄水、肥管理方面的研究较多,但大多集中在研究灌溉方式、灌溉量或施肥量等单一因素对葡萄生长发育的影响方面。近年来,也有学者开展了水肥联合调控对葡萄果实产量和品质的影响研究<sup>[12-13]</sup>,但这些研究所针对的灌溉方式主要是沟灌或滴灌,而关于葡萄在覆膜滴灌条件下的水肥联合调控研究较少,尤其是葡萄在不同生育期对水肥耦合的响应机制尚不清晰。本文通过膜下滴灌施肥试验,重点探讨水肥耦合对葡萄生长发育、产量及品质的影响,旨在寻求适合设施葡萄生产的水肥管理方案,为实现葡萄的优质、高效生产奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2014年4—10月在吉林省长春市绿丰

集团葡萄生产基地塑料大棚内进行。试验区地处松辽平原腹地,位于东经125°25',北纬43°88',海拔高度287 m,属北温带大陆性季风气候区,年平均降水量为522~615 mm,无霜期为140~150 d,年平均日照时数为2688 h。塑料大棚的棚宽为10 m,棚长为70 m。以定植3 a的葡萄苗为试材,品种为寒香蜜,其种植株距为0.5 m,行距为1.8 m。试验田土质为黑钙土。0~30 cm土壤基本理化性质:土壤容重1.16 g/cm<sup>3</sup>、有机质质量比30.6 g/kg、全氮质量比1.56 g/kg、速效氮质量比62.5 mg/kg、速效磷质量比36.1 mg/kg、速效钾质量比135.4 mg/kg、pH值为6.43,根区土壤田间持水率为24.7% (质量含水率)。供试肥料:尿素(含N质量分数46%)、磷酸二铵(含N质量分数18%、含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>质量分数46%)、硫酸钾(含K<sub>2</sub>O质量分数50%)。试验过程中采用常规方法进行田间管理。

### 1.2 试验设计

试验小区采用2因素完全随机设计,其中,总灌水量设置4个水平,分别为:180(W1)、270(W2)、360(W3)、450 mm(W4);总施肥量设置4个水平,分别为:N 150 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 165 kg/hm<sup>2</sup>(F1)、N 225 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 248 kg/hm<sup>2</sup>(F2)、N 300 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 240 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 330 kg/hm<sup>2</sup>(F3)、N 450 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 360 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 495 kg/hm<sup>2</sup>(F4)。试验共计16个处理(F1W1、F1W2、F1W3、F1W4、F2W1、F2W2、F2W3、F2W4、F3W1、F3W2、F3W3、F3W4、F4W1、F4W2、F4W3、F4W4),每个处理3次重复,共计48个小区。为了避免不同小区之间的水肥相互影响,于各试验小区之间采用竖向埋深为50 cm的塑料薄膜进行防侧渗处理。田间滴灌毛管沿着葡萄种植行向进行铺设,并用地膜覆盖。滴灌毛管规格:直径16 mm、滴头间距为50 cm的内镶式圆柱形滴灌管。

采用文丘里施肥器进行滴灌施肥。施肥分别在

4个时期进行:新梢生长期、开花期、果实膨大期和果实着色期,其中,新梢生长期施入N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O分别占总施肥量的40%、15%、15%;开花期分别占20%、20%、20%;果实膨大期分别占20%、35%、35%;果实着色期分别占20%、30%、30%;全生育期共滴灌10次,每次灌水量相同,新梢生长期滴灌3次,开花期滴灌1次,果实膨大期滴灌4次,果实着色期滴灌2次。具体实施方案如表1和表2所示。

表1 不同生育期灌溉量

Tab.1 Irrigation depths at different growth stages

	mm				
灌溉处理	新梢生长期	开花期	果实膨大期	果实着色期	总灌溉量
W1	54	18	72	36	180
W2	81	27	108	54	270
W3	108	36	144	72	360
W4	135	45	180	90	450

表2 不同生育期施肥量

Tab.2 Fertilizer application rates at different

growth stages kg/hm<sup>2</sup>

施肥处理	施肥种类	新梢生长期	开花期	果实膨大期	果实着色期	总施肥量
F1	N	60.00	30.00	30.00	30.00	150.00
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18.00	24.00	42.00	36.00	120.00
	K <sub>2</sub> O	24.75	33.00	57.75	49.50	165.00
F2	N	90.00	45.00	45.00	45.00	225.00
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	27.00	36.00	63.00	54.00	180.00
	K <sub>2</sub> O	37.12	49.50	86.62	74.75	248.00
F3	N	120.00	60.00	60.00	60.00	300.00
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36.00	48.00	84.00	72.00	240.00
	K <sub>2</sub> O	49.50	66.00	115.50	99.00	330.00
F4	N	180.00	90.00	90.00	90.00	450.00
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	54.00	72.00	126.00	108.00	360.00
	K <sub>2</sub> O	74.25	99.00	173.25	148.50	495.00

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 新梢长度

在新梢摘心前,对新梢的生长动态进行跟踪。于第1次施肥后每隔20d对葡萄新梢长度进行测定,每个处理重复3次,共测量3次。

#### 1.3.2 叶片叶绿素含量

分别于新梢生长期、开花期、果实膨大期和果实着色期,选取植株相同部位的功能叶片进行叶绿素含量测定,每个处理重复3次,方法采用丙酮-乙醇混合液法。

#### 1.3.3 果实产量与形态指标

在果实成熟期从各处理随机抽取9株葡萄分别挂牌标记,然后对其产量进行统计,并计算平均单株

产量。根据试验小区面积和栽培株数,将其折算为单位面积产量(t/hm<sup>2</sup>)。葡萄果实的纵、横径采用游标卡尺进行测定,并用果实的纵径与横径的比值来描述果形指数,每个处理随机选取50粒进行测试,然后取其平均值。

#### 1.3.4 果实品质

在葡萄采收期,对果实品质进行测定分析。果实中可溶性固形物含量采用手持式折光仪进行测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[14]</sup>,可滴定酸含量采用氢氧化钠滴定法测定,每个处理重复3次。葡萄果实硬度采用水果硬度计测定,每个处理随机选取50粒进行测试,分别测定带皮果实阴阳两面的硬度,然后取其平均值。

### 1.4 数据处理

试验数据采用DPS 12.0统计软件进行处理和分析,用LSD法检验各处理间差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水肥处理对葡萄新梢生长的影响

由表3可以看出,不同水、肥组合处理对葡萄新梢的生长速率影响较大。在新梢生长初期、施肥水平为F1时,不同灌水处理对应新梢长度由大到小依次为:W4、W3、W2、W1,且W4与W1处理之间差异性达到显著水平;在新梢生长中期,当施肥水平为F1、F2和F3时,均是灌水处理W3的新梢长度最大,而当施肥水平为F4时,在试验所设置的灌水量范围内,新梢长度随着灌水量的增加而增加;在新梢生长后期,F1和F3水平下新梢长度由大到小均依次为:W3、W2、W4、W1。

从灌水量水平而言,在W1、W2和W3灌水处理下,除W2在新梢生长初期表现为F2大于F1、F3和F4外,在中、后期都表现为F3大于F1、F2和F4,表明当灌水量不高于W3时,与F3组合处理有利于促进葡萄新梢的生长。但当灌水量为W2水平时,在新梢整个生长期F2与F3处理间差异均不显著。

### 2.2 不同水肥处理对葡萄叶片叶绿素含量的影响

由图1可以看出,在同一灌水量下,葡萄叶片中叶绿素含量随施肥量的增加呈现出先增后减的趋势。而在施肥量一定的条件下,叶绿素含量随灌水量增加也呈现出先增后减的趋势。各处理植株叶片在开花期叶绿素含量最高,其次是果实膨大期和果实着色期,新梢生长期叶绿素含量最低。在F3W3处理下,葡萄叶片叶绿素含量在各个生育时期均分别高于其他处理,其在新梢生长期、开花期、果实膨大期和果实着色期分别达到3.40、3.89、3.71、3.64 mg/g,而在F2W2处理下,葡萄叶片叶绿素含

表3 不同水肥处理对葡萄新梢长度的影响

Tab.3 Effects of different irrigation and fertilization treatments on new shoot length

处理 编号	生长初期 (5月18日)	生长中期 (6月7日)	生长后期 (6月27日)	处理 编号	生长初期 (5月18日)	生长中期 (6月7日)	生长后期 (6月27日)
F1W1	15.23 <sup>b</sup>	46.67 <sup>e</sup>	64.70 <sup>f</sup>	F3W1	25.63 <sup>bed</sup>	54.25 <sup>cd</sup>	77.02 <sup>bc</sup>
F1W2	18.70 <sup>e</sup>	50.52 <sup>ef</sup>	70.97 <sup>de</sup>	F3W2	26.08 <sup>bc</sup>	58.07 <sup>b</sup>	80.65 <sup>b</sup>
F1W3	20.00 <sup>fg</sup>	54.53 <sup>cd</sup>	72.45 <sup>de</sup>	F3W3	29.78 <sup>a</sup>	60.65 <sup>a</sup>	83.70 <sup>a</sup>
F1W4	21.05 <sup>efg</sup>	51.05 <sup>ef</sup>	69.92 <sup>e</sup>	F3W4	25.88 <sup>bc</sup>	56.30 <sup>bc</sup>	77.27 <sup>bc</sup>
F2W1	22.77 <sup>def</sup>	52.28 <sup>de</sup>	70.88 <sup>de</sup>	F4W1	22.72 <sup>def</sup>	48.83 <sup>fg</sup>	72.42 <sup>de</sup>
F2W2	27.55 <sup>ab</sup>	56.35 <sup>bc</sup>	79.87 <sup>ab</sup>	F4W2	24.55 <sup>cd</sup>	55.85 <sup>bc</sup>	76.70 <sup>bc</sup>
F2W3	24.67 <sup>bed</sup>	57.47 <sup>b</sup>	76.82 <sup>bc</sup>	F4W3	26.02 <sup>bc</sup>	56.00 <sup>bc</sup>	77.70 <sup>bc</sup>
F2W4	23.50 <sup>cde</sup>	54.93 <sup>c</sup>	74.05 <sup>cd</sup>	F4W4	24.00 <sup>cde</sup>	57.37 <sup>b</sup>	80.20 <sup>ab</sup>

注:同列数值后不同小写字母表示在  $p < 0.05$  水平差异显著,下同。

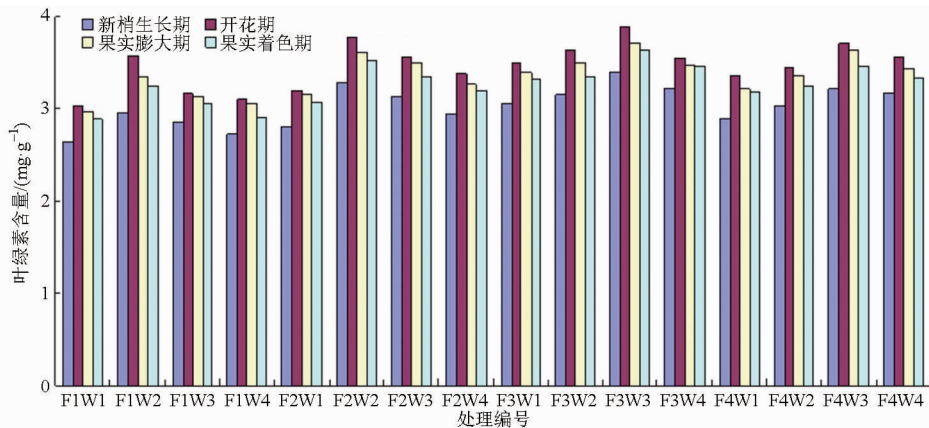


图1 不同水肥处理对葡萄叶片叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of different irrigation and fertilization treatments on chlorophyll content of grape leaf

量在新梢生长期、开花期、果实膨大期和果实着色期分别达 3.28、3.77、3.65、3.53 mg/g,在整个生育期与 F3W3 处理差异不显著。此外, F3W2 处理,叶片叶绿素含量在开花期达到 3.64 mg/g,与最高值 F3W3 处理之间的差异不显著; F3W4 处理,叶绿素含量在果实着色期达到 3.46 mg/g,与最高值 F3W3 处理之间的差异不显著。

### 2.3 不同水肥处理对葡萄果实形态的影响

由表4可以看出,不同水肥处理对果实形态指标产生较大的影响。对于果实纵径而言, F3W4 处理最大,纵径达到 19.83 mm, F1W1 处理最小,纵径达到 18.38 mm,两者之间存在显著的差异。比较不同处理对应的果实横径可知, F1W2 处理的最大,横径达到 18.65 mm,其次为 F3W3 处理,而 F2W3 处理最小,横径仅为 17.41 mm,与 F1W2 处理和 F3W3 处理之间的差异均达到显著水平。不同处理对应果实的果形指数在 1.03~1.11 之间,其中 F3W4 处理对应果形指数最大, F1W1 和 F1W2 处理最小,与 F3W3 处理间的差异均达到显著水平。

### 2.4 不同水肥处理对葡萄果实品质的影响

由表5可以看出,不同水肥处理对葡萄果实品质产生较大影响。在灌水量一定的情况下,随着施

表4 不同水肥处理对葡萄果实形态的影响

Tab.4 Effects of different irrigation and fertilization treatments on fruit shape of grape

处理 编号	果实纵 径/mm	果实横 径/mm	果形 指数	处理 编号	果实纵 径/mm	果实横 径/mm	果形 指数
F1W1	18.38 <sup>b</sup>	17.87 <sup>ab</sup>	1.03 <sup>b</sup>	F3W1	19.18 <sup>ab</sup>	18.18 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>ab</sup>
F1W2	19.21 <sup>ab</sup>	18.65 <sup>a</sup>	1.03 <sup>b</sup>	F3W2	19.23 <sup>ab</sup>	17.83 <sup>ab</sup>	1.08 <sup>ab</sup>
F1W3	19.40 <sup>ab</sup>	18.52 <sup>ab</sup>	1.05 <sup>ab</sup>	F3W3	19.30 <sup>ab</sup>	18.63 <sup>a</sup>	1.04 <sup>ab</sup>
F1W4	19.60 <sup>ab</sup>	18.47 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>ab</sup>	F3W4	19.83 <sup>a</sup>	17.95 <sup>ab</sup>	1.11 <sup>a</sup>
F2W1	19.05 <sup>ab</sup>	17.70 <sup>ab</sup>	1.08 <sup>ab</sup>	F4W1	18.55 <sup>ab</sup>	17.48 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>ab</sup>
F2W2	19.27 <sup>ab</sup>	18.16 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>ab</sup>	F4W2	19.30 <sup>ab</sup>	18.20 <sup>ab</sup>	1.06 <sup>ab</sup>
F2W3	18.53 <sup>ab</sup>	17.41 <sup>b</sup>	1.07 <sup>ab</sup>	F4W3	18.95 <sup>ab</sup>	18.18 <sup>ab</sup>	1.04 <sup>ab</sup>
F2W4	18.40 <sup>b</sup>	17.68 <sup>ab</sup>	1.04 <sup>ab</sup>	F4W4	19.12 <sup>ab</sup>	17.70 <sup>ab</sup>	1.08 <sup>ab</sup>

肥量的增加,果实可溶性固形物含量呈现出先增后减的趋势,其中, F2W2 处理果实可溶性固形物含量最高,质量分数达到 19.64%,其次为 F2W3、F3W1、F3W4、F3W3 和 F4W4 处理,但这5个处理与 F2W2 处理之间的差异均不显著。比较果实可滴定酸含量可知, F2W3 处理果实可滴定酸含量最高,达 0.93%,最低的为 F4W1 处理,其果实可滴定酸含量仅为 0.63%。此外, F4W2 处理果实可溶性糖含量最高,达 17.73%,与之差异不显著的处理有 F3W1、F3W2、F2W1 和 F2W2。

果实硬度对减少葡萄在采收、包装、贮藏和运输中的损失浪费有着重要的意义,是提高经济产值的有利条件。从表5可以看出,不同水肥处理对果实硬度的影响较大,其中,果实硬度高于 $0.7\text{ kg/cm}^2$ 的处理有F4W2、F3W3和F2W2,且这些处理之间均无显著差异,而F1W3处理果实硬度最低,仅为 $0.53\text{ kg/cm}^2$ 。

表5 不同水肥处理对葡萄果实品质的影响

Tab.5 Effects of different irrigation and fertilization treatments on fruit quality of grape

处理 编号	可溶性固形物 质量分数/%	可滴定酸 质量分数/%	可溶性糖 质量分数/%	硬度/ ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ )
F1W1	16.20 <sup>e</sup>	0.85 <sup>ab</sup>	16.23 <sup>de</sup>	0.58 <sup>bc</sup>
F1W2	18.20 <sup>bcd</sup>	0.87 <sup>ab</sup>	15.71 <sup>ef</sup>	0.60 <sup>abc</sup>
F1W3	17.10 <sup>de</sup>	0.75 <sup>cd</sup>	15.07 <sup>gh</sup>	0.53 <sup>e</sup>
F1W4	16.20 <sup>e</sup>	0.93 <sup>a</sup>	14.22 <sup>i</sup>	0.58 <sup>bc</sup>
F2W1	17.00 <sup>de</sup>	0.75 <sup>cd</sup>	17.31 <sup>ab</sup>	0.62 <sup>abc</sup>
F2W2	19.64 <sup>a</sup>	0.86 <sup>ab</sup>	17.00 <sup>abc</sup>	0.71 <sup>ab</sup>
F2W3	19.12 <sup>ab</sup>	0.93 <sup>a</sup>	15.50 <sup>fg</sup>	0.68 <sup>ab</sup>
F2W4	17.28 <sup>de</sup>	0.89 <sup>ab</sup>	14.84 <sup>h</sup>	0.63 <sup>abc</sup>
F3W1	19.11 <sup>ab</sup>	0.70 <sup>de</sup>	17.54 <sup>a</sup>	0.65 <sup>abc</sup>
F3W2	17.60 <sup>cd</sup>	0.75 <sup>cd</sup>	17.38 <sup>a</sup>	0.59 <sup>bc</sup>
F3W3	18.77 <sup>abc</sup>	0.83 <sup>bc</sup>	16.42 <sup>cd</sup>	0.73 <sup>a</sup>
F3W4	19.01 <sup>ab</sup>	0.86 <sup>ab</sup>	15.70 <sup>ef</sup>	0.70 <sup>ab</sup>
F4W1	14.61 <sup>f</sup>	0.63 <sup>e</sup>	16.42 <sup>cd</sup>	0.67 <sup>abc</sup>
F4W2	17.10 <sup>de</sup>	0.68 <sup>de</sup>	17.56 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>
F4W3	17.00 <sup>de</sup>	0.75 <sup>cd</sup>	16.72 <sup>bcd</sup>	0.69 <sup>ab</sup>
F4W4	18.50 <sup>abc</sup>	0.80 <sup>bc</sup>	16.26 <sup>de</sup>	0.67 <sup>ab</sup>

## 2.5 不同水肥处理对葡萄果实产量的影响

由图2可以看出,不同水肥处理对葡萄果实产量产生较大影响。果实产量最高的为F2W3处理,达到 $30.11\text{ t/hm}^2$ ,各处理中产量超过 $25\text{ t/hm}^2$ 的还有F2W2和F3W3处理。由于光合作用是作物生产的基础,而叶片光合色素的含量与植物的光合作用

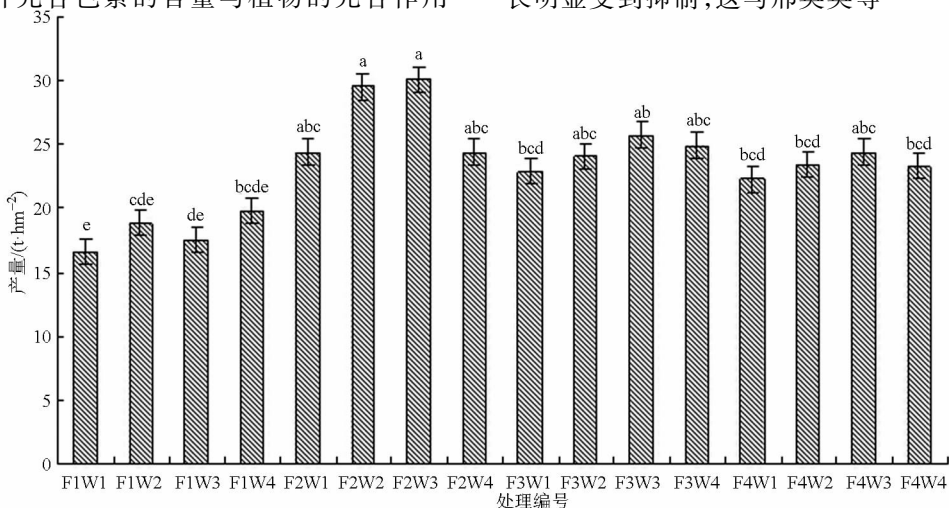


图2 不同水肥处理对葡萄果实产量的影响

Fig.2 Effects of different irrigation and fertilization treatments on grape yield

密切相关<sup>[15]</sup>。因此,结合图1不同水肥处理对葡萄叶片叶绿素含量的影响,在一定程度上也可以解释F2W2、F2W3和F3W3处理获得高产的原因。另外,尽管这3个处理之间的产量差异均未达到显著水平,但F3W3处理的水、肥资源投入量明显高于其他2个处理,因此,不利于实现高效益生产。

## 3 讨论

水和肥是影响作物产量和品质的重要因素<sup>[16-17]</sup>。水肥关系协调,才有利于提高水和肥的利用效率,也是实现低投入、高产和高品质生产的重要基础<sup>[18-20]</sup>。水肥通过影响叶片光合色素、气孔开度及叶片酶活性等多种因素<sup>[21]</sup>,对植株的光合作用形成影响,进而影响产量和水肥的利用率。作物在不同的生育阶段对水肥的需求量也有所不同<sup>[22-23]</sup>。本研究表明,当施肥量和灌水量达到阈值后,如果继续增加水肥的使用量,不仅使生产投入量增大,产量和品质也会下降,这与其他作物研究的结果相类似<sup>[24-26]</sup>。

在葡萄新梢生长初期和中期,当施肥量不超过F3处理水平时,新梢长度先随着灌水量的增加而有所增加,但当灌水量达到W4处理水平时,新梢生长受到限制,这可能是由于土壤湿度过大,葡萄根际含氧量降低,迫使根系呼吸困难,降低了根系活力。此外,对于施肥量为F1的处理植株而言,在高灌水量下植株新梢生长速度较慢的另一原因可能是F1处理施肥量相对较低,灌水量过大使得根际土壤养分浓度进一步稀释,且还有部分营养流失,进而导致根系能够吸收的养分有限,最终影响了植株地上器官的生长。在F4处理施肥量水平下,新梢长度随灌水量的增加而增加,在低灌水量的生长条件下,新梢生长明显受到抑制,这与邢英英等<sup>[27-28]</sup>的研究结果类

似。

光合作用是作物生产的基础,而叶片光合色素的含量与植物的光合作用密切相关。本试验结果表明,F2W2和F3W3处理对应的葡萄叶片在整个生育期叶绿素含量均较高,这不仅对植株的营养生长有利,也为保证葡萄的高产奠定了基础。土壤中水和肥的分布状况直接影响植株根系对矿质元素的吸收,进而影响地上器官的形成与发育,最终影响作物的产量和品质<sup>[29-32]</sup>。对于葡萄果实形态而言,F1W2处理和F3W4处理果实横径和纵径最高。F3W4处理果形指数最高,但除F1W1和F1W2处理外,其他各处理间差异均不显著。此外,从葡萄果实产量而言,虽然F2W2处理的果实产量并不是最高,但其与产量最高的F2W3处理之间差异并不显著,且F2W2处理果实品质较理想,其果实不仅可溶性固形物含量最高,且在果实硬度、可溶性糖质量分数方面也表现出优势,该处理对稳定葡萄产量及改善果实品质有着积极意义。

本研究是以定植3a的‘寒香蜜’葡萄为试材,葡萄植株已经进入了丰产期,研究结论对指导生产具有一定的参考意义。在今后的研究中,还有待于

从长期施肥效果进行综合评价,并将水肥管理与葡萄植株整枝修剪相结合来开展更加深入和系统的研究。

#### 4 结束语

通过田间膜下滴灌施肥试验,全面考虑水肥的协同效应,探讨了水肥耦合对葡萄生长发育、产量及品质的影响。通过对多项指标进行综合分析,结果表明,在灌水量为W2(270 mm)及施肥量为F2(N 225 kg/hm<sup>2</sup> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg/hm<sup>2</sup> + K<sub>2</sub>O 248 kg/hm<sup>2</sup>)的组合处理下,葡萄新梢生长效果较好,叶片叶绿素含量在整个生育期都处于较优水平,葡萄果实产量高29.56 t/hm<sup>2</sup>,而且该灌水量和施肥量水平对应的葡萄果实品质较理想,在可溶性固形物含量、可溶性糖质量分数和果实硬度等方面表现出优势,分别为19.64%、17.00%和0.71 kg/cm<sup>2</sup>。田间试验结果表明,将膜下滴灌施肥用于葡萄生产具有重要的意义,水、肥协调,既能实现高产,又可减少水、肥的投入,研究结果可为指导设施葡萄的优质、高效生产提供参考依据。

#### 参 考 文 献

- 1 杨艳芬,王全九,白云岗,等. 极端干旱地区滴灌条件下葡萄生长发育特征[J]. 农业工程学报,2009,25(12):45-50.  
YANG Yanfen, WANG Quanjiu, BAI Yungang, et al. Characteristics of grape growth under drip irrigation condition in extremely arid regions[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 45-50. (in Chinese)
- 2 房玉林,孙伟,万力,等. 调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(13):2730-2738.  
FANG Yulin, SUN Wei, WAN Li, et al. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on wine grape growth and fruit quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(13): 2730-2738. (in Chinese)
- 3 张芮,成自勇,李毅,等. 小管出流亏缺灌溉对设施延后栽培葡萄产量与品质的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(20):108-113.  
ZHANG Rui, CHENG Ziyong, LI Yi, et al. Effects of small tube flow deficit irrigation on yield and quality of greenhouse grape under delayed cultivation[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(20): 108-113. (in Chinese)
- 4 彭立新,王全九,巨龙. 田间膜下滴灌土壤水分运动特征试验研究[J]. 灌溉排水学报,2008,27(5):67-70.  
PENG Lixin, WANG Quanjiu, JU Long. Experimental study on soil water movement characteristics in field drip irrigation under film[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(5): 67-70. (in Chinese)
- 5 王振华,杨培岭,郑旭荣,等. 新疆现行灌溉制度下膜下滴灌棉田土壤盐分分布变化[J]. 农业机械学报,2014,45(8):149-159.  
WANG Zhenhua, YANG Peiling, ZHENG Xurong, et al. Soil salt dynamics in cotton fields with mulched drip irrigation under the existing irrigation system in Xinjiang[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 149-159. (in Chinese)
- 6 黄丽华,沈根祥,钱晓雍,等. 滴灌施肥对农田土壤氮素利用和流失的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(7):49-53.  
HUANG Lihua, SHEN Genxiang, QIAN Xiaoyong, et al. Impacts of drip fertilizer irrigation on nitrogen use efficiency and total nitrogen loss load[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 49-53. (in Chinese)
- 7 刘洋,栗岩峰,李久生,等. 东北半湿润区膜下滴灌对农田水热和玉米产量的影响[J]. 农业机械学报,2015,46(10):93-104.  
LIU Yang, LI Yanfeng, LI Jiusheng, et al. Effects of mulched drip irrigation on water and heat conditions in field and maize yield in sub-humid region of northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(10): 93-104. (in Chinese)
- 8 王秀康,邢英英,张富仓. 膜下滴灌施肥番茄水肥供应量的优化研究[J]. 农业机械学报,2016,47(1):142-150.  
WANG Xiukang, XING Yingying, ZHANG Fucang. Optimal amount of irrigation and fertilization under drip fertigation for tomato[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 142-150. (in Chinese)
- 9 Mmolawa K, Dani O. Root zone solute dynamics under drip irrigation; a review[J]. Plant and Soil, 2000, 222(1): 163-190.

- 10 王洪源,李光永.滴灌模式和灌水下限对甜瓜耗水量和产量的影响[J].农业机械学报,2010,41(5):47-51.  
WANG Hongyuan, LI Guangyong. Effect of drip irrigation model and irrigation start point on water consumption and yield of sweet melon[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 47-51. (in Chinese)
- 11 ZHOU Shiqiao, WANG Jin, LIU Jinxian, et al. Evapotranspiration of a drip-irrigated, film-mulched cotton field in northern Xinjiang, China[J]. Hydrological Processes, 2012, 26(8): 1169-1178.
- 12 黄英,安进强,张芮,等.水肥调控对设施延后栽培葡萄产量和品质的影响[J].干旱地区农业研究.2015,33(2):191-202.  
HUANG Ying, AN Jinqiang, ZHANG Rui, et al. Effects of fertilizer-water regulation on quality and yield of green house grape under delayed cultivation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(2): 191-202. (in Chinese)
- 13 王探魁,吉艳芝,张丽娟,等.不同产量水平葡萄园水肥投入特点及其土壤-树体养分特征分析[J].水土保持学报,2011,25(3):136-146.  
WANG Tankui, JI Yanzhi, ZHANG Lijuan, et al. Characteristics of water and fertilizer inputs in different production levels vineyards and soil-tree nutrient characteristics analysis[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(3): 136-146. (in Chinese)
- 14 曹建康,姜维波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:54-59.
- 15 乔建磊,于海业,宋述尧,等.氮素形态对马铃薯叶片光合色素及其荧光特性的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(3):39-44.  
QIAO Jianlei, YU Haiye, SONG Shuyao, et al. Effects of nitrogen forms on photosynthetic pigment and chlorophyll fluorescence characteristics of potato leaves[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(3): 39-44. (in Chinese)
- 16 张丽莹,王荣莲,张俊生,等.水肥耦合对温室无土栽培黄瓜氮代谢的影响[J].园艺学报,2011,38(5):893-902.  
ZHANG Liying, WANG Ronglian, ZHANG Junsheng, et al. Effects of water and fertilizer coupling on nitrogen metabolism of cucumber under soil less culture in greenhouse[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(5): 893-902. (in Chinese)
- 17 吴立峰,张富仓,周罕觅,等.不同滴灌施肥水平对北疆棉花水分利用率和产量的影响[J].农业工程学报,2014,30(20):137-146.  
WU Lifeng, ZHANG Fucang, ZHOU Hanmi, et al. Effect of drip irrigation and fertilizer application on water use efficiency and cotton yield in North of Xinjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(20): 137-146. (in Chinese)
- 18 Marcelis L. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47(1): 1281-1291.
- 19 倪纪恒,罗卫红,李永秀,等.温室番茄干物质分配与产量的模拟分析[J].应用生态学报,2006,17(5):811-816.  
NI Jiheng, LUO Weihong, LI Yongxiu, et al. Simulation of greenhouse tomato dry matter partitioning and yield prediction[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(5): 811-816. (in Chinese)
- 20 陈钢,吴礼树,李煜华,等.不同供磷水平对西瓜产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1189-1192.  
CHEN Gang, WU Lishu, LI Yuhua, et al. Effect of different phosphorous supply levels on yield and quality of watermelon[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1189-1192. (in Chinese)
- 21 燕辉,胡笑涛,姚付启.限量灌溉对冬小麦光合与叶绿素荧光的影响[J].农业机械学报,2011,42(11):49-54.  
YAN Hui, HU Xiaotao, YAO Fuqi. Effects of limited irrigation on photosynthesis and fluorescence of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 49-54. (in Chinese)
- 22 张玉凤,董亮,刘兆辉,等.不同肥料用量和对比对西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(4):765-769.  
ZHANG Yufeng, DONG Liang, LIU Zhaohui, et al. Effect of fertilization amount and ratio on yield, quality and nutrient absorption of watermelon[J]. Chinese Journal of Ecological Agriculture, 2010, 18(4): 765-769. (in Chinese)
- 23 ZHANG Hexi, CHI Daocai, WANG Qun, et al. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(6): 921-930.
- 24 杨小振,张显,马建祥,等.滴灌施肥对大棚西瓜生长、产量及品质的影响[J].农业工程学报,2014,30(7):109-118.  
YANG Xiaozhen, ZHANG Xian, MA Jianxiang, et al. Effects of drip fertigation on growth, yield and quality of watermelon in plastic greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(7): 109-118. (in Chinese)
- 25 郑健,蔡焕杰,王燕,等.不同供水条件对温室小型西瓜苗期根区土壤水分、温度及生理指标的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):37-41.  
ZHENG Jian, CAI Huanjie, WANG Yan, et al. Effect of different water supply conditions on soil water content, soil temperature and physiological characteristics of mini-watermelon at the seedling stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(3): 37-41. (in Chinese)
- 26 谷晓博,李援农,杜娅丹,等.水氮耦合对冬油菜氮营养指数和光能利用效率的影响[J].农业机械学报,2016,47(2):123-132.  
GU Xiaobo, LI Yuannong, DU Yadan, et al. Effects of water and nitrogen coupling on nitrogen nutrition index and radiation use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(2): 123-132. (in Chinese)

- LI Yunkai. Design of fractal flow path for emitters and experiment study and modeling on its fluid mechanism[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 71 TAJRISHYI M A, HILL D J, TCHOBANOGLOUS G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation[J]. *Irrigation Drainage*, 1994, 120(4): 716–731.
- 72 李久生, 陈磊, 栗岩峰. 加氯处理对再生水滴灌系统灌水器堵塞及性能的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(5): 7–13.  
LI Jiusheng, CHEN Lei, LI Yanfeng. Effect of chlorination on emitter clogging and system performance for drip irrigation with sewage effluent[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(5): 7–13. (in Chinese)
- 73 LI J S, LI Y, ZHANG H. Tomato yield and quality and emitter clogging as affected by chlorination schemes of drip irrigation systems applying sewage effluent[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11(10): 101–108.
- 74 ÜSTÜN A, MESUDE F D, FIKRETTIN A. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system[J]. *Journal of Environmental Management*, 2005, 76(4): 338–341.
- 75 SECKIN E, USTUN S, TALIP T, et al. Bacterial application increased the flow rate of CaCO<sub>3</sub>-clogged emitters of drip irrigation system[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 98(15): 37–42.
- 76 王金武, 纪文义, 冯金龙, 等. 液态施肥机的设计与试验研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(6): 157–159.  
WANG Jinwu, JI Wenyi, FENG Jinlong, et al. Design and experimental investigation of the liquid fertilizer applicator[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(6): 157–159. (in Chinese)
- 77 徐卫红. 水肥一体化实用新技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- 78 KANG Shaozhong, SHI Wenjuan, ZHANG Jianhua. An improved water use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation[J]. *Field Crops Research*, 2000, 67(3): 207–214.
- 79 CHEN Y, SAMSON R. Integration of liquid manure into conservation tillage corn systems[J]. *Transactions of the ASAE*, 2002, 45(3): 629–638.
- 80 黄燕, 汪春, 衣淑娟. 液体肥料施用装置设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(4): 85–88.  
HUANG Yan, WANG Chun, YI Shujuan. Manufacture and the test analysis on the device of liquid fertilizer[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(4): 85–88. (in Chinese)
- 81 SURYA P B, LANCE P, MIDMORE D J. Root aeration improves yield and water use efficiency of tomato in heavy clay and saline soils [J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 108(3): 278–288.
- 82 于贝贝. 番茄肥水气一体化施用技术研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2013.  
YU Beibei. Application technology research on integration of water, fertilizer and gas of tomato[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- 83 张凤娟, 胡艳飞, 张瑞喜, 等. 加工番茄生长、NPK 营养及产量对磁化水滴灌的响应[J]. *农业工程*, 2014, 4(3): 140–144.  
ZHANG Fengjuan, HU Yanfei, ZHANG Ruixi, et al. Response of processing tomato growth, NPK nutrition and yield to magnetized water in drip irrigation system[J]. *Agricultural Engineering*, 2014, 4(3): 140–144. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 119 页)

- 27 邢英英, 张富仓, 张燕, 等. 膜下滴灌水肥耦合促进番茄养分吸收及生长[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(21): 70–80.  
XING Yingying, ZHANG Fucang, ZHANG Yan, et al. Irrigation and fertilization coupling of drip irrigation under plastic film promotes tomato's nutrient uptake and growth[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(21): 70–80. (in Chinese)
- 28 周罕觅, 张富仓, 李志军, 等. 桃树需水信号及产量和果实品质对水分的响应研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(12): 171–180.  
ZHOU Hanmi, ZHANG Fucang, LI Zhijun, et al. Response of water demand signal, yield and fruit quality of peach tree to soil moisture[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(12): 171–180. (in Chinese)
- 29 刘志刚, 王纪章, 徐云峰, 等. 不同灌溉方式下生菜根系生长模型研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(4): 284–288.  
LIU Zhigang, WANG Jizhang, XU Yunfeng, et al. Root growth model of lettuce under different cultivation substrates and irrigation modes[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(4): 284–288. (in Chinese)
- 30 FAVATI F, LOVELLI S, GALGANO F, et al. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling[J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 122(4): 562–571.
- 31 潘艳花, 马忠明, 吕晓东, 等. 不同供钾水平对西瓜幼苗生长和根系形态的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(5): 536–541.  
PAN Yanhua, MA Zhongming, LÜ Xiaodong, et al. Effects of different potassium nutrition on growth and root morphological traits of watermelon seedling[J]. *Chinese Journal of Ecological Agriculture*, 2012, 20(5): 536–541. (in Chinese)
- 32 PATANÈ C, TRINGALI S, SORTINO O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129(4): 590–596.