

## 采用染料示踪法可视化研究葡萄新梢水分运输途径

谢兆森<sup>1\*</sup>, Bhaskar Bondada<sup>2</sup>, 李勃<sup>3</sup>, 丁杰<sup>4</sup>

<sup>1</sup>河北科技师范学院园艺科技学院, 河北秦皇岛066600; <sup>2</sup>华盛顿州立大学葡萄栽培与酿造科研中心, 美国华盛顿州里奇兰市99354; <sup>3</sup>山东果树研究所育种研究室, 山东泰安271000; <sup>4</sup>河北农业大学林学院, 河北保定071001

**摘要:** 当前, 对于葡萄(*Vitis vinifera*)新梢中水分在不同器官与组织间运输途径的研究鲜有报道, 本文以八年生‘霞多丽’(‘Chardonnay’)葡萄为实验材料, 采用染料示踪法观察葡萄新梢中水分运输途径及关联组织结构。结果表明, 在水分沿新梢纵向运输过程中, 各器官的水势大小影响着水分在各器官中的运输与分配, 同一节位上葡萄果穗水势最高, 其次为叶片, 副梢水势最低; 新梢不同节位叶片水势和气孔导度都存在差异, 从新梢基部到顶端所保留的11片叶中, 从基部第1叶到第6叶水势逐渐减小, 第6叶水势值最低, 但从第6叶到顶端第11叶水势有小幅增加, 而叶片气孔导度从基部到顶端则呈先增加后下降趋势; 从不同节位叶柄的染色率来看, 随着水分沿新梢纵向往上运输, 从基部到顶端叶片, 叶柄染色率下降; 从各器官与新梢的水分联系途径来看, 叶柄与新梢间通过4~9条从新梢木质部分离出来的维管束(叶迹)相联系, 而卷须、果柄和副梢等器官与新梢间维管束连成一体, 在节处出现分支通向以上器官, 尽管果实与果柄存在木质部运输通道, 但在果实发育的第二次快速生长期, 只在果刷与果肉细胞相连的维管束中观察到染料分布, 与此同时, 冬芽处于独立状态, 与新梢无木质部相连。因此, 新梢着生的各器官与新梢间的水分运输途径存在差异, 水分在各器官的运转与分配规律受到运转途径解剖结构的制约, 同时, 维持各器官水分平衡关系和生理活动需水也调控着新梢水分在各器官的运输与分配。

**关键词:** 葡萄新梢; 水分; 染料示踪; 水势; 木质部

水分是影响植物生长的一个重要因子, 也是果树生产上影响果树产量和果实品质的一个关键因素(Choat等2009; Keller和Shrestha 2014)。水分是植物体内各种营养物质运转的载体, 同时植物体内各种生理代谢活动都是在水分直接或间接作用下完成的, 因此水分影响着植物体内的物质循环和能量代谢。植物水分生理研究一直是植物生理研究的热点(Johnson和Dixon 1965; Tyree 1997; Wheeler和Stroock 2008)。植物体内的水分运输过程受到叶片蒸腾和各组织器官生长代谢活动的驱动, 外界环境和各器官水分需求都调节着水分在植物体内的运输与分配(Ryan等2004), 影响水分在植物体内运输与分配的主要因素有水势梯度、叶片蒸腾、外界环境、根系吸水能力等。

木质部是水分运输的主要场所, 其具有较低的轴向阻力, 有助于水分从根系到叶片、果实的长距离运输, 同时木质部导管之间相互联系, 形成一个完整的水分运输系统, 保证从根系到其他器官的水分与物质联系(Van As 2007)。木质部通常由导管和管胞两种类型细胞组成, 其中导管的结构和分布决定了木质部的导水率。葡萄为藤本植物, 新梢由多个分节组成, 节间是葡萄水分运输的主体(Schulte和Brooks 2003; Lo Gullo等2004)。水分在新梢中的运输要跨越不同的节区, 每一节间是新梢水分运输的主体, 同时在节处着生着叶

片、芽、副梢、果实等, 水分在每一节处随着发生运输途径的分离, 进入到不同组织和器官中。在研究植物体内不同器官水分运输可视化的方法上主要有染料示踪(Allaire等2009)、光传导(Garrigues等2006)、电导率(Beff等2013)、中子成像(Warren等2013)等技术, 近年来人们开始采用X射线、超声波、核磁共振等技术对木质部水分动态运输进行研究(Mayr和Zublasing 2010; Dhondt等2010; Bellincontro等2009)。

新梢是葡萄当季生长的主体, 也是叶幕大小与形状的主要组成部分, 是水分运输与分配最活跃的场所, 而在植物体内水分是各种矿质营养和光合产物运输的载体, 同时也参与到各种生理代谢活动中。很多研究认为根系吸收的大部分水分经木质部导管运输到叶片, 然后由蒸腾转化为气态水散发到外界环境中(Granier 1987; 张雷等2009)。葡萄新梢上着生着叶片、果实、芽、副梢等组织与器官, 这些组织与器官是树体利用水分的主要场所, 它们对水分的利用方式和需求大小都存在差异。从结构决定功能的观点出发, 水分从新梢到其着生

收稿 2016-02-23 修定 2016-07-05

资助 国家自然科学基金(31470104)、河北省高等学校优秀青年基金(YQ2013010)和河北省自然科学基金(C2013407107)。

\* 通讯作者(E-mail: xiezhaosen@sina.com)。

的组织与器官的运输途径在结构和分布上的差异,影响着各个组织与器官的水分利用效率,进而影响到叶片的光合作用、果实生长与品质。

染料示踪法作为一种传统的水分示踪方法易操作,能直观可视化地研究水分在植物体内的分布(Aloni和Grith 1991; Schulte和Brooks 2003; 谢兆森等2011, 2012),但采用染料示踪法观察葡萄新梢水分运输途径还未见报道。本文采用染料示踪法观察葡萄新梢水分在各着生器官中的运输途径,旨在揭示新梢着生的果实、叶片、副梢、芽等组织和器官在水分利用途径上的差异,为阐明葡萄新梢水分利用规律提供理论依据。

## 材料与方法

### 1 实验材料

实验材料为欧亚种酿酒葡萄(*Vitis vinifera* L.)品种‘霞多丽’(‘Chardonnay’),植株于2008年秋季种植,定植苗为一年生扦插苗,定植植株株距为1.5 m×2.7 m,南北行向,土壤为砂质壤土,植株采用单干双臂整形,冬季采用短枝修剪,每株单臂留新梢10个。选取新梢生长一致的植株3株,于葡萄果实第二次快速生长期,也是葡萄果实糖分积累关键期,采集新梢,开展相关实验。每株选取带果新梢3个,其中每株1个新梢用于各项生理指标测定,其余用于染料示踪观察,选择晴天上午10:00左右开展染料示踪,同时测定相关生理指标。

### 2 新梢、叶片、果实与副梢水势

采用压力室法(Bondada等2005) (PMS Instruments, USA)测定新梢上着生各器官水势。在染料示踪实验进行的同时,选取在新梢粗度、长度和叶片数量上一致,且在树体上着生位置相近的与染料示踪实验所用新梢同一葡萄植株的新梢不同节位叶片测定叶片水势、果穗水势、副梢和新梢水势。

### 3 叶片气孔导度

进行染料示踪实验的同时测定新梢不同节位叶片的气孔导度,新梢选取的方法同叶片水势测定实验所述。采用SC-1型稳态气孔计(Decagon Devices, USA)测定叶片气孔导度(Schulte和Brooks 2003)。

### 4 染料示踪

染料示踪实验采用离体引入,参照谢兆森等(2011)的方法进行。染料示踪实验所使用的染料

为1% (m/V)的酸性品红溶液。采样方法:分别选取生长健壮植株各3株的长度、粗度一致的新梢3个,每一新梢留叶片数为11片,果穗着生节为下留1片叶,并视为基部第1片叶片,将新梢所留第11片叶片以上部分剪除,叶片处理完成后,沿新梢基部水平剪除新梢,并迅速插入装有染料的PVP管内,悬挂放置在新梢在树体的着生处,记录并观察染料在新梢中运输情况,当观察到新梢顶部叶片(第11片叶片)主叶脉基部有染料进入时结束实验。

### 5 结构观察

染料示踪结束后将新梢放入冰盒,带回实验室,采用徒手切片,在光学显微镜下观察染料在新梢、叶柄、叶脉、果柄、果实、芽、副梢中的分布情况,并用蔡司(ZEISS)显微镜图像处理软件(ZEN 2)进行数据处理,测定各器官木质部染色面积。

## 实验结果

### 1 新梢着生各器官及水势

新梢上着生着叶、芽(夏芽与冬芽)、果穗、副梢、卷须等组织和器官,是水分经长距离运输进入这些组织和器官的最后通道,也是与这些组织和器官直接相连的水分通道。通过测定新梢同一节位的果穗、叶片和副梢的水势,发现其水势大小顺序为:新梢>果穗>叶片>副梢(图1)。

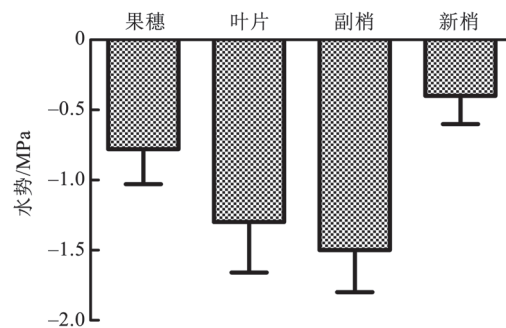


图1 新梢不同器官水势

Fig.1 Water potentials of different organs on vine shoots

### 2 新梢不同节位叶片水势、气孔导度与叶柄染色率

从新梢不同节位叶片的水势和气孔导度变化来看,从新梢第1叶片到第6叶水势逐渐减小,第6叶水势值最小,但从第6叶到顶端叶片水势值呈增加趋势(图2-A),气孔导度的变化趋势则与水势相反(图2-B)。

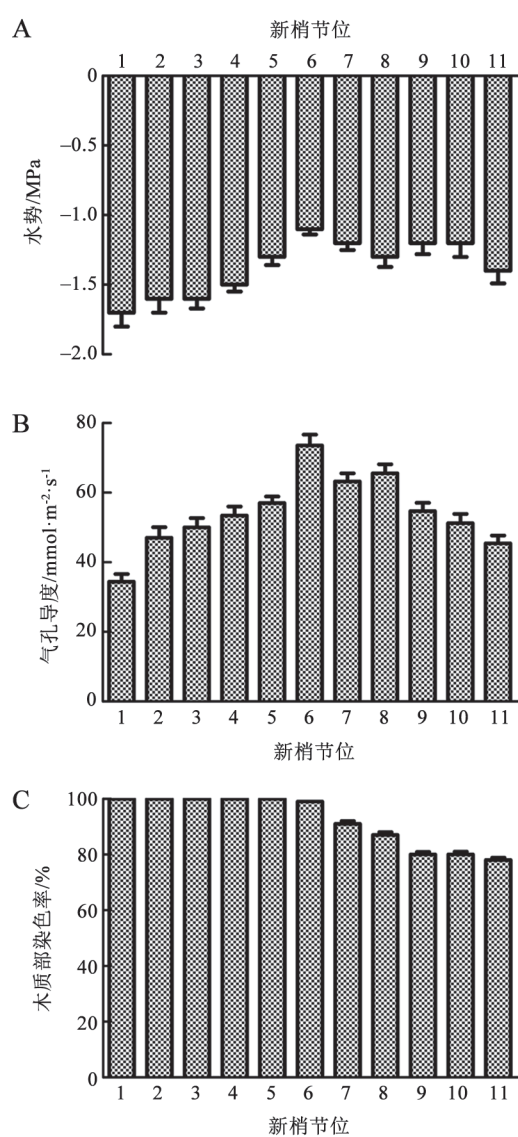


图2 不同节位(从新梢基部始)新梢叶片水势(A)、气孔导度(B)和叶柄木质部染色率(C)

Fig.2 Water potentials (A), stomatal conductances (B) and petiole dyeing rates (C) of leaves on different shoot nodes (from basal node)

染料随着水分在叶片蒸腾拉力下沿新梢木质部向上运输,从新梢基部到顶端不同节位的叶片叶柄的染色情况来看,从第1叶叶柄到第6叶叶柄木质部染色率达到100%,从第7叶到顶端叶片叶柄木质部染色数量逐渐下降(图2-C),这和各叶片水势与气孔导度的变化趋势不一致,说明水分在新梢的运输不仅靠叶片蒸腾产生的水势梯度,还有其他因素影响到水分在新梢中的运输。

### 3 新梢各器官的水分运输途径

#### 3.1 新梢与叶片间水分运输途径

在新梢节处,叶柄与新梢间水分通道通过从新梢木质部分离出来的维管束相联系(图3-A~E),从新梢中分离出的维管束条数为4~9条,这些维管束与叶柄平行分布在新梢两侧。从其纵向分布来看,与叶柄相连的维管束(叶迹)从节间基部新梢初生木质部往上延伸,在节处转向韧皮部与叶柄相连(图3-C),纵向分布新梢两侧的维管束在节处横向汇合进入叶柄(图3-B和F)。水分从叶柄进入叶片叶脉后再进入叶肉细胞中,从染料进入叶片前后的形态可以清晰地看出染料在叶片中的分布(图4-A~D)。在叶柄的维管束中,木质部被染成红色,部分韧皮部也被染色(图4-E),在叶脉中也清晰地看到维管束被染色(图4-F和G)。

#### 3.2 新梢与副梢间水分运输途径

副梢是由夏芽发育而来,副梢与新梢间维管束连接方式与果穗类似(图5-A和B),新梢木质部在叶柄上方侧向转入副梢运输水分。从副梢叶片中染料分布来看,副梢中染料运输的速率下降,远低于新梢叶片(图5-C)。

#### 3.3 新梢与冬芽间水分运输途径

从染料示踪实验中,未见染料进入冬芽中(图5-D和E),这说明冬芽在果实的第二次快速生长期与新梢间木质部联系被切断,处于相对独立的状态,这可能与冬芽进入休眠期有关。尽管未发现冬芽与新梢间存在木质部水分途径,但冬芽与新梢间仍可以通过细胞间的水分扩散保持水分平衡。从本实验的结果来看这种细胞间的水分扩散速率远远低于各器官中维管束的水分运输速率。

#### 3.4 新梢与卷须间水分运输途径

在卷须的基部可以看到染料的分布,但到了卷须的中部和顶端未见染料分布(图5-F和G),这说明卷须与新梢间存在水分联系,但水分运输速率较低。

#### 3.5 新梢与果柄间水分运输途径

果柄与新梢间木质部连成一体,水分在新梢木质部向上纵向运输过程中,于果柄和新梢相连处侧向往果穗中运输水分(图5-H和I)。从染料在果穗中的分布来看,在果实发育的第二次快速生长期,果穗穗柄和果柄中都有染料分布(图5-J),果实中染料在果实果刷处有分布(图5-K),但在果实维管束中未见分布(图5-L)。



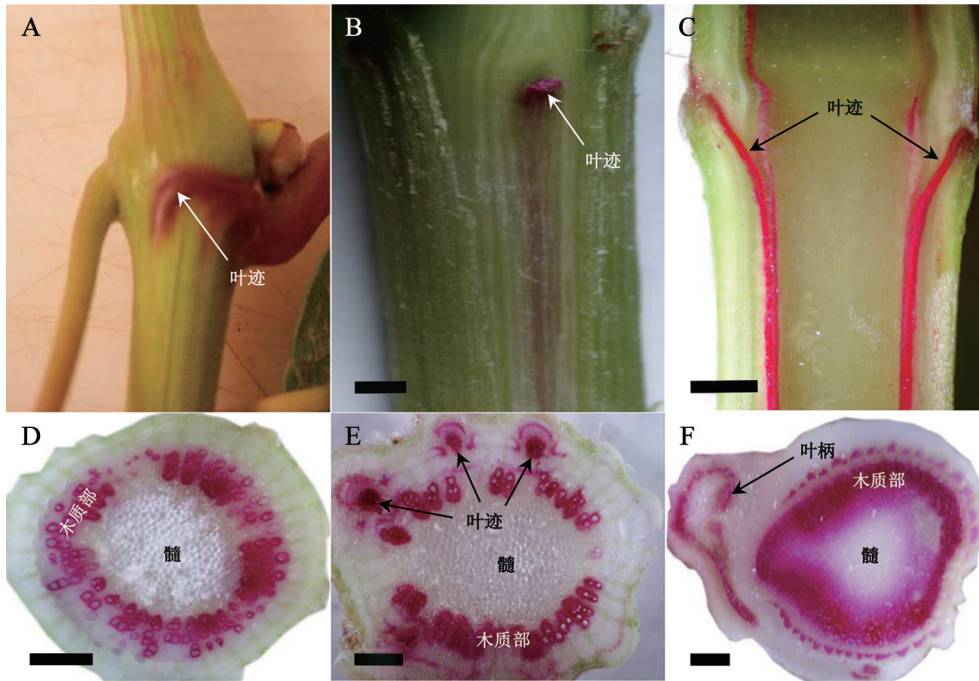


图3 水分进入新梢叶片的运输途径

Fig.3 Water transportation way from shoot to petiole

A: 新梢节处; B: 新梢与叶柄相连的一条维管束形态; C: 染料运输沿新梢节处维管束往叶柄运输; D: 新梢节间横切面; E: 节处新梢横切面; F: 节处新梢与叶柄相连横切面。图中标尺表示长度为0.25 mm, 图4和5同。

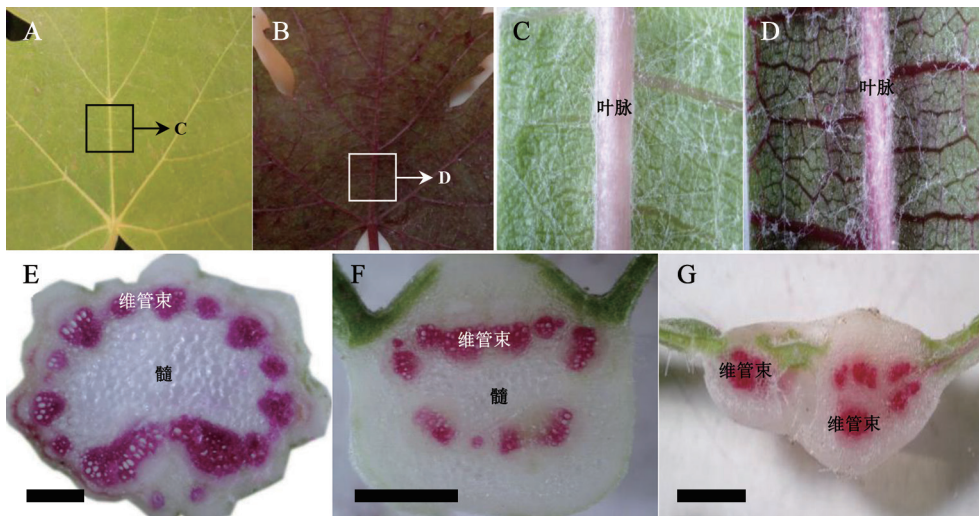


图4 叶片染色前后形态及叶柄和叶脉染色分布

Fig.4 Different looks of leaves before and after dye being transported in leaf, and the distribution of dye in petiole and vein

A和C: 染料未进入叶片前; B和D: 染料进入叶片后; E: 叶柄中染料分布; F和G: 叶脉中染料分布。

#### 4 新梢各器官水分运输通道结构特征

通过观察新梢横切面木质部染色情况可以看出, 新梢中各导管的染色程度不同, 这说明各导管的水分运输速率存在差异(图6-A), 新梢中初生木

质导管直径小, 但染色程度高, 这说明初生木质部有较高的水分运输效率(图6-B)。在水分朝上纵向运输过程中, 木质部中的水分横向扩散进入韧皮部(图6-C), 由于横向扩散的速率低于纵向运输速

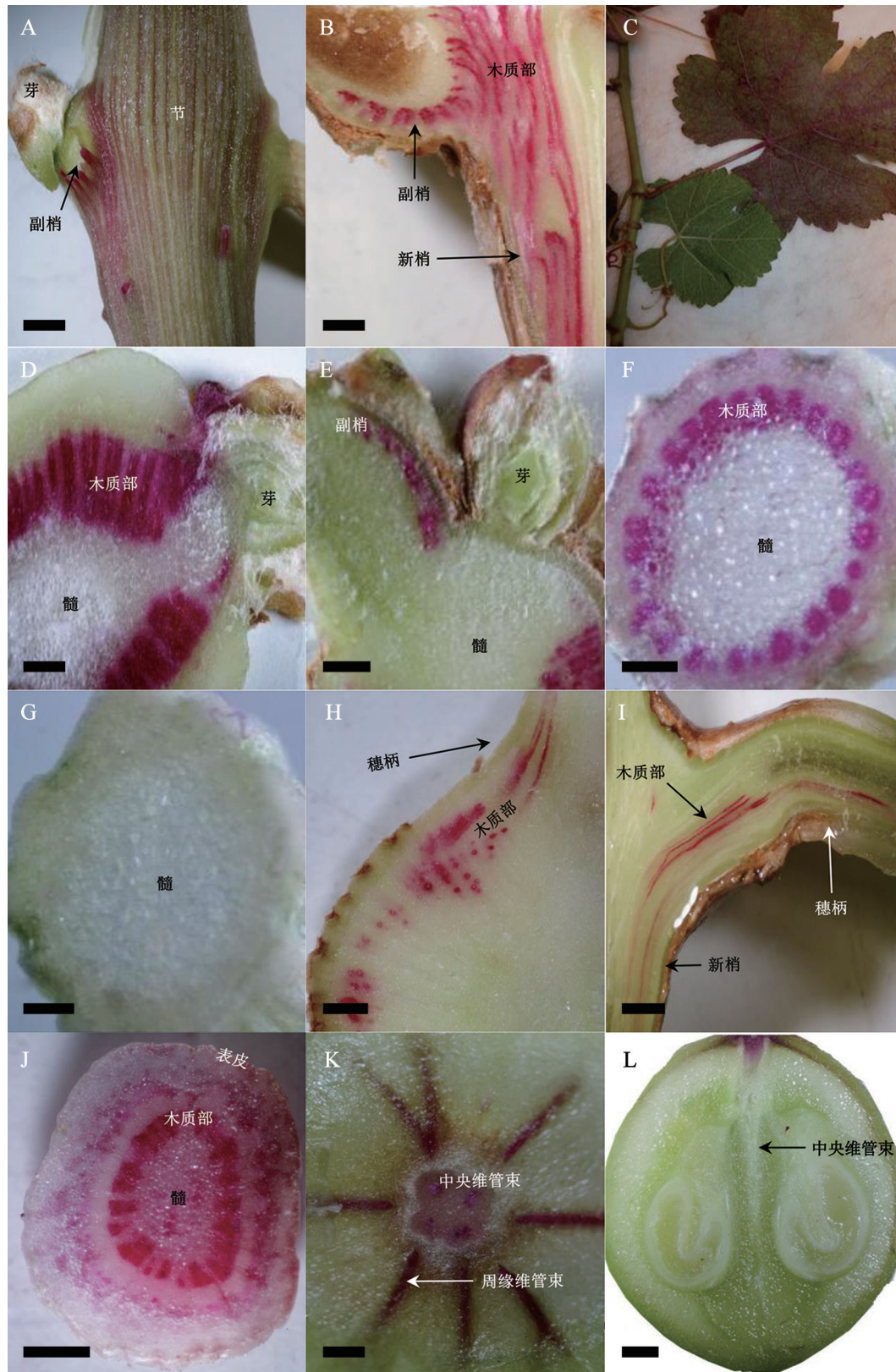


图5 染料在果实、副梢、芽、卷须等器官中的分布

Fig.5 Dye distribution in fruit berry, lateral shoot, bud and tendril

A: 染料在新梢节处的分布; B: 染料从新梢至副梢的运输; C和E: 染料从新梢至果柄的运输; D和F: 芽与新梢相连处的染料分布; G: 副梢叶片与新梢叶片染料分布; H和I: 卷须基部与中部横切面染料分布; J: 染料在穗柄中的分布; K和L: 染料在果实中的分布。



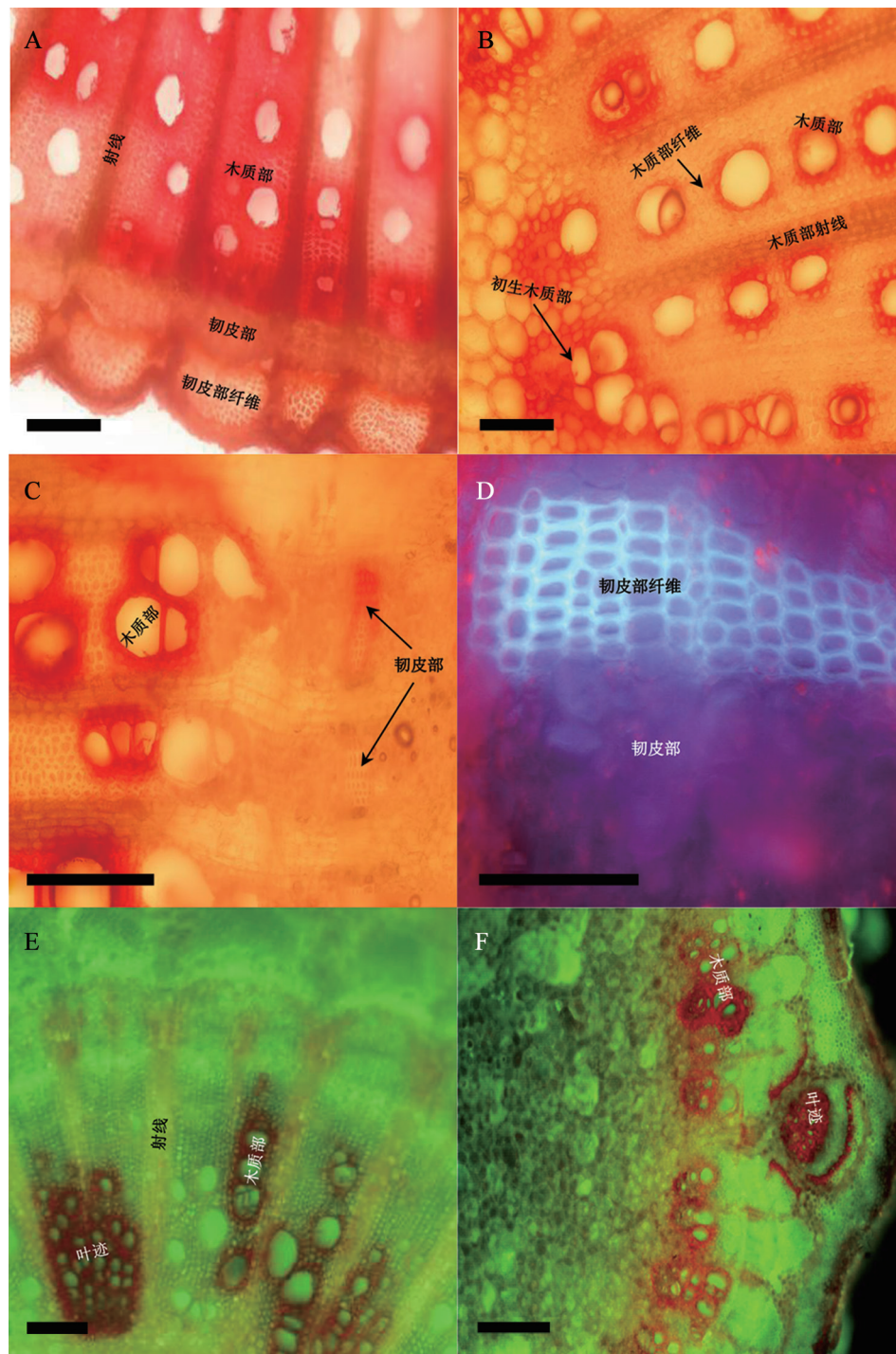


图6 横切新梢中染料分布

Fig.6 Dye distribution in shoot (cross section)

A~D: 新梢木质部和韧皮部中染料分布; E和F: 与叶柄相连木质部在节间基部和节处染料分布。图中标尺表示长度为0.5 mm, 图7同。

率, 多数新梢韧皮部未见染色(图6-D)。受叶片蒸腾影响, 叶片与新梢相连的木质部导管染色程度高, 水分运输速率也高(图6-E和F)。与新梢着生的

各器官相比, 新梢木质部导管分子直径较大, 木质部发达(图6-B和7-B、C)。从叶柄的横切面看, 在叶柄轴面沟有2个皮层维管束, 在靠近轴面有2个

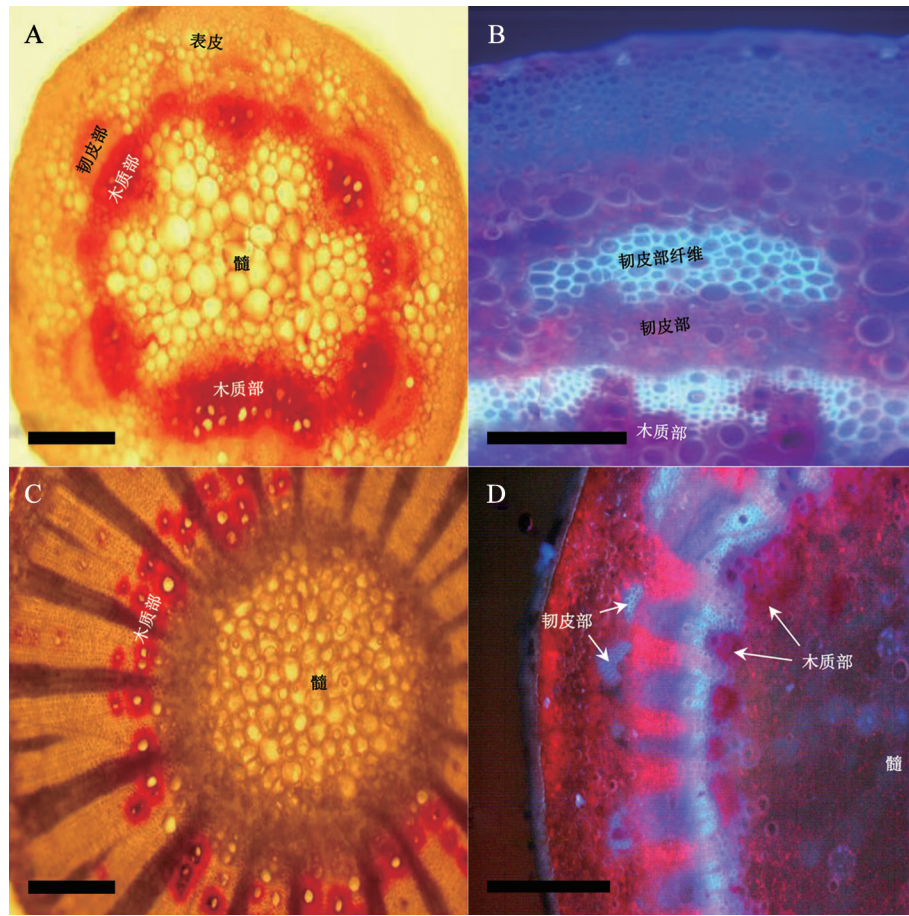


图7 染料在叶柄和穗柄中的分布  
 Fig.7 Dye distribution in petiole and peduncle  
 A和B: 叶柄中的染料分布; C和D: 穗柄中的染料分布。

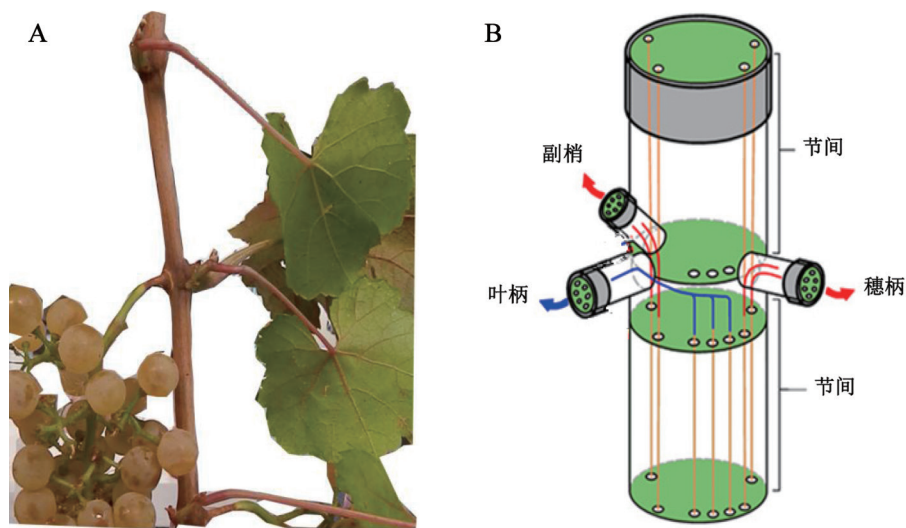


图8 从新梢至与果穗、叶柄、副梢等器官的维管束系统示意图  
 Fig.8 Schematic drawing of vascular bundle system from shoot to grape cluster, leaf petiole and lateral shoot  
 A: 着生果穗、叶片与副梢的葡萄新梢; B: 新梢与果穗、叶柄、副梢等器官维管束系统示意图。



较大的近轴维管束,与之相对分布有5个大小相间的远轴维管束,近轴维管束与远轴维管束相连接成环状分布(图7-A和B)。从果穗穗柄的横切面看,在果实发育的第二次快速生长期,随着果实糖分积累的增加,果穗穗柄木质化,同时果穗穗柄中部分木质部失去传输功能(图7-C和D)。

## 讨 论

由于葡萄新梢各器官对水分的需求规律不同,而且调控各器官水分需求的因子很多,机理也很复杂,同时各器官水分转运的途径也有一定的差异,在阐述植物体内水分长距离运输机理研究上有不同理论和学说,也存在一些争论(Matthews和Shackel 2005; Halis等2012)。

本实验通过染料示踪可以清晰地看到水分从新梢到各个器官的运输途径,在水分纵向运输过程中,新梢到各器官的水分运输途径相互独立(图8-A和B),彼此在横向上无木质部相连,这表明它们间的水分竞争关系主要与各器官的水势及所处节位有关(图3-C和5-B、C)。水分在葡萄新梢的纵向运输过程中,要持续跨过多个节位,往新梢顶端运输,且节处新梢粗度要大于节间新梢,这增加了水分运输的距离(图3-A和8-A)。相关研究也表明植物枝条节间细胞分化程度低,细胞排列不规则,原生质浓厚,导管直径较小、弯曲迂回,增加了水分运输的距离(Schulte和Brooks 2003; Lo Gullo等2004),液流在节间进行运输和分配时速率和液流量降低。

与其他器官相比,叶片与新梢间的水分联系通过从新梢节位开始独立分离出来的维管束相连,不同节位间的叶片水分竞争关系主要受叶片蒸腾导致的水势差异影响(图2-A)。在植株的生长过程中,叶片蒸腾大小受到外界温度、湿度、光照、植物生长发育和生理代谢等因素的影响。由于叶片的蒸腾作用,将水分从水势高的根部输送到水势低的叶片,转运的过程要克服水的重力和木质部导管阻力,而植物水势的大小反映了木质部液流的动态变化(Zimmermann等2002, 2004)。

本研究中还发现,叶片水势与新梢其他器官相比要小,促使水分更多地往叶片中运输,从水分转运的途径来看,往叶片运输水分的木质部相对独立,也大大提高了水分运输效率。水分是果实

生长的重要限制因子,Keller等(2015)研究认为葡萄果实中的含水量占果实重量的70%~90%,相对于叶片需水主要用于蒸腾来说,葡萄果实对水分的需求主要是为满足自身生长发育和生理代谢活动,水分的蒸发量也远远低于叶片。在果实不同的发育期,葡萄果实水分转运的途径也不同。本研究发现在果实发育的第二次快速生长期,染料随着水分运输在果穗穗柄中都有分布,但不能进入到果实维管束内,这也和以往的研究结论相同(Matthews和Shackel 2005; Bondada等2005)。从染料的分布来看,葡萄新梢冬芽中未见有染料分布,这也说明芽与新梢之间的水分联系相对独立,并且未见木质部与芽相联系。由夏芽萌发形成副梢,副梢与新梢之间通过木质部相连,形成一体的水分运输通道。

## 参考文献

- Allaire SE, Roulier S, Cessna AJ (2009). Quantifying preferential flow in soils: a review of different techniques. *J Hydrol*, 378 (2): 179–204
- Aloni R, Griffith M (1991). Functional xylem anatomy in root-shoot junctions of six cereal species. *Planta*, 184 (1): 123–129
- Beff L, Günther T, Vandoorne B, Couvreur V, Javaux M (2013). Three-dimensional monitoring of soil water content in a maize field using electrical resistivity tomography. *Hydrol Earth Syst Sci*, 17 (2): 595–609
- Bellincontro A, Nicoletti I, Valentini M, Tomas A, De Santis D, Corradini D, Mencarelli F (2009). Integration of nondestructive techniques with destructive analyses to study postharvest water stress of winegrapes. *Am J Enol Vitic*, 60 (1): 57–65
- Bondada BR, Matthews MA, Shackel KA (2005). Functional xylem in the post-veraison grape berry. *J Exp Bot*, 56 (421): 2949–2957
- Choat B, Gambetta GA, Shackel KA, Matthews MA (2009). Vascular function in grape berries across development and its relevance to apparent hydraulic isolation. *Plant Physiol*, 151 (3): 1677–1687
- Dhondt S, Vanhaeren H, Van Loo D, Cnudde V, Inzé D (2010). Plant structure visualization by high-resolution X-ray computed tomography. *Trends Plant Sci*, 15 (8): 419–422
- Garrigues E, Doussan C, Pierret A (2006). Water uptake by plant roots: I – Formation and propagation of a water extraction front in mature root systems as evidenced by 2D light transmission imaging. *Plant Soil*, 283 (1): 83–98
- Granier A (1987). Evaluation of transportation in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiol*, 3 (4): 309–320
- Halis Y, Djehichi S, Senoussi MM (2012). Vessel development and the importance of lateral flow in water transport within developing bundles of current-year shoots of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Trees*, 26 (3): 705–714
- Johnson B, Dixon JR (1965). Ascent of sap in trees: effect of negative absolute pressure on flow resistance. *Nature*, 208: 1347–1348



- Keller M, Shrestha PM (2014). Solute accumulation differs in the vacuoles and apoplast of ripening grape berries. *Planta*, 239 (3): 633–642
- Keller M, Zhang Y, Shrestha PM, Biondi M, Bondada BR (2015). Sugar demand of ripening grape berries leads to recycling of surplus phloem water via the xylem. *Plant Cell Environ*, 38 (6): 1048–1059
- Lo Gullo MA, Noval LC, Salleo S, Nardini A (2004). Hydraulic architecture of plants of *Helianthus annuus* L. cv. Margot: evidence for plant segmentation in herbs. *J Exp Bot*, 55 (402): 1549–1556
- Matthews MA, Shackel KA (2005). Growth and water transport in fleshy fruit. In: Holbrook NM, Zwieniecki MA (eds). *Vascular Transport in Plants*. Burlington, MA: Academic Press, 181–197
- Mayr S, Zublas V (2010). Ultrasonic emissions from conifer xylem exposed to repeated freezing. *J Plant Physiol*, 167 (1): 34–40
- Ryan MG, Binkley D, Fownes JH, Giardina CP, Senock RS (2004). An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *Ecol Monogr*, 74 (3): 393–414
- Schulte PJ, Brooks JR (2003). Branch junctions and the flow of water through xylem in Douglas-fir and ponderosa pine stems. *J Exp Bot*, 54 (387): 1597–1605
- Tyree MT (1997). The cohesion–tension theory of sap ascent: current controversies. *J Exp Bot*, 48 (315): 1753–1765
- Van As H (2007). Intact plant MRI for the study of cell water relations, membrane permeability, cell-to-cell and long-distance water transport. *J Exp Bot*, 58 (4): 743–756
- Warren JM, Billeux H, Kang M, Voisin S, Cheng CL, Horita J, Perfect E (2013). Neutron imaging reveals internal plant water dynamics. *Plant Soil*, 366 (1): 683–693
- Wheeler TD, Stroock AD (2008). The transpiration of water at negative pressures in a synthetic tree. *Nature*, 455: 208–212
- Xie ZS, Cao HM, Li B, Li WF, Xu WP, Wang SP (2012). Changes of water transportation in berry vascular bundle at different developmental phases of Kyoho grape berry. *Sci Agri Sin*, 45 (1): 111–117 (in Chinese with English abstract) [谢兆森, 曹红梅, 李勃, 李为福, 许文平, 王世平(2012). 巨峰葡萄果实不同发育期维管束水分运输变化. *中国农业科学*, 45 (1): 111–117]
- Xie ZS, Cao HM, Liu AL, Wang B, Wang SP (2011). The effects of root restriction on water transport in the vascular bundle of grape fruit during different stages of development. *Plant Physiol J*, 47 (9): 899–903 (in Chinese with English abstract) [谢兆森, 曹红梅, 刘爱玲, 王博, 王世平(2011). 根域限制对葡萄果实不同发育期维管束水分运输的影响. *植物生理学报*, 47 (9): 899–903]
- Zhang L, Sun PS, Liu SR (2009). A review on water use responses of tree/forest stand to environmental changes by using sapflow techniques. *Acta Ecol Sin*, 29 (10): 5600–5610 (in Chinese with English abstract) [张雷, 孙鹏森, 刘世荣(2009). 树干液流对环境变化响应研究进展. *生态学报*, 29 (10): 5600–5610]
- Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Haase A (2004). Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? *New Phytol*, 162 (3): 575–615
- Zimmermann U, Schneider H, Wegner LH, Wagner HJ, Szimtenings M, Haase A, Bentrup FW (2002). What are the driving forces for water lifting in the xylem conduit? *Physiol Plant*, 114 (3): 327–335

## Visualization of axial water transport pathways in grapevines using dye-tracing technique

XIE Zhao-Sen<sup>1\*</sup>, Bhaskar BONDADA<sup>2</sup>, LI Bo<sup>3</sup>, DING Jie<sup>4</sup>

<sup>1</sup>College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Technology and Science, Qinhuangdao, Hebei 066600, China; <sup>2</sup>Viticulture and Wine Science Center, Washington State University, Richland, WA 99354, USA; <sup>3</sup>Breeding Laboratory, Shandong Institute of Pomology, Taian, Shandong 271000, China; <sup>4</sup>College of Forestry, Hebei Agriculture University, Baoding, Hebei 071001, China

**Abstract:** The axial water transport pathways of grapevine (*Vitis vinifera*) shoot system are poorly understood. Eight-year-old vines of cultivar ‘Chardonnay’ were used as plant material, and the visualizing technique of entailing xylem-dye was used to observe water movement in the axial xylem system of current-season shoot. The results suggest that the water potential varied among different organs; the cluster framework showed the highest value followed by leaf and lateral stem. Along the primary shoot, the water potential increased acropetally whereas the stomatal conductance increased basipetally. Moving up from the first basal leaf toward the apical leaf remained before experiment, the degree of staining in the petiole decreased with the water transport along the shoot. The vascular connection between shoot and leaf petiole consisted of 4–9 vascular traces, the shoot vascular connection with lateral, peduncle and tendrils was similar, and the branch vascular from shoot extended into these organs. During the second rapid growth of grape berry, the dye was only observed at the junction between berry brush and berry flesh. During this phase, the winter bud was staying in dormancy phase and isolated from shoot, so no dye was observed in winter bud. In conclusion, the water transport from shoot to different organs on it showed some differences in pathway and efficiency, which were affected by the structural aspect of different organs, the mode of connection with shoot, and the demanding for water.

**Key words:** grapevine shoot; water; dye-tracing; water potential; xylem

---

Received 2016-02-23 Accepted 2016-07-05

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31470104), the Science Foundation for the Excellent Youth of Universities in Hebei (Grant No. YQ2013010), and the Natural Science Foundation of Hebei (Grant No. C2013407107).

\*Corresponding author (E-mail: xiezhaosen@sina.com).