

Controlo da altura de plantas ornamentais: alternativas sustentáveis aos reguladores de crescimento

Susana M.P. Carvalho^{1,2}, Domingos P.F. Almeida^{1,3} & Ep Heuvelink²

¹CBQF/Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal, spcarvalho@mail.esb.ucp.pt

²Horticultural Supply Chains Group, Universidade de Wageningen, Wageningen, Holanda.

³Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Resumo

A necessidade de encontrar estratégias sustentáveis eficazes no controlo da altura da planta é actualmente um grande desafio que se coloca à horticultura ornamental protegida. Este estudo teve como objectivo: (1) analisar a informação disponível acerca dos factores que afectam a altura das plantas; (2) compreender os mecanismos fisiológicos envolvidos no processo de alongamento do caule; (3) definir alternativas sustentáveis para produzir plantas compactas, reduzindo ao mínimo a aplicação de ‘reguladores químicos de crescimento’. Concluiu-se que manter uma temperatura nocturna superior à temperatura diurna (DIF negativa ou tratamento DROP) ou a alteração do espectro luminoso (elevado rácio vermelho/vermelho-longínquo) apresentam um forte potencial como métodos não químicos no controlo da altura de várias espécies de plantas ornamentais. O aumento do rácio vermelho/vermelho-longínquo, poderá ser efectuado de diferentes modos incluindo a utilização de filmes foselectivos e/ou recorrendo a um conjunto de medidas facilmente aplicáveis tais como: (i) evitar densidades de plantação muito elevadas; (ii) utilização de luz suplementar com elevado rácio vermelho/vermelho-longínquo (ex. lâmpadas de assimilação em substituição de lâmpadas incandescentes); (iii) evitar a exposição das plantas à radiação do crepúsculo (devido à diminuição natural do rácio vermelho/vermelho-longínquo). O stress mecânico é também uma medida eficaz para a manutenção de plantas compactas em determinadas espécies. Paralelamente, o recurso ao Melhoramento de plantas no sentido de seleccionar cultivares ananizantes poderá ser

bastante promissor. Porém, na maioria dos casos, não será uma medida única que permitirá a obtenção de plantas compactas, mas a combinação de várias estratégias.

Palavras-chave: alongamento do caule, DIF, espectro luminoso, flores de corte, plantas envasadas.

Abstract

Height control in ornamental plants: sustainable alternatives to growth regulators.

The need to find sustainable and efficient strategies to control plant height is currently a great challenge in the protected cultivation of ornamental plants. The aim of this study was to: (1) analyse the available information on the factors involved in plant height; (2) understand the underlying physiological mechanisms behind stem elongation; (3) define sustainable alternatives for producing compact floricultural crops, reducing the application of chemical growth retardants to a minimum level. It was concluded that keeping a night temperature higher than the day temperature (negative DIF or DROP treatment) or changing the light quality (high red/ far-red ratio) have a high potential as non-chemical methods for controlling plant height in several species of ornamental plants. Increasing the red/ far-red ratio can be done in different ways including the use of photoselective films and/or using several easy to apply measures, including: (i) avoiding very high plant densities; (ii) using supplementary light with a high red/far-red ratio (e.g. assimilation lamps instead of incandescent lamps); (iii) avoiding plant exposure to the twilight period (due to the natural reduction of the red/far-red ratio). Mechanical stress is also an effective strategy for producing compact plants in some species. Furthermore, plant breeding might offer good possibilities for developing dwarf cultivars. Nevertheless, in most cases, it will not be one single measure that will result in compact plants, but it is rather the combination of several strategies.

Keywords: cut flowers, DIF, light quality, pot plants, stem elongation.

Introdução

Devido à existência de critérios de qualidade rigorosos relativos à altura das plantas ornamentais, um controlo eficaz do alongamento do caule assume uma elevada importância quer na produção de plantas envasadas quer na produção de certas espécies de flores de corte (Carvalho & Heuvelink, 2001; Carvalho et al., 2005). Produzir plantas de interior compactas, com uma altura uniforme e preestabelecida em função do tamanho do vaso, para entrega na data acordada com o cliente é um aspecto de elevada importância, particularmente nos mercados internacionais orientados para o consumidor (Dijkshoorn-Dekker, 2002). Paralelamente, devido ao crescimento das zonas urbanas, também se tem vindo a registar um aumento da procura de plantas envasadas de exterior que sejam compactas e muito ramificadas, para a decoração de varandas e pátios. Como tal, de modo a garantir a obtenção de plantas compactas e com uma melhor forma, são habitualmente utilizados reguladores de crescimento. Dependendo de um conjunto de factores (ex. espécie, cultivar, tamanho do vaso e estação do ano) a aplicação destas substâncias químicas poderá ser efectuada numa base semanal (Carvalho et al., 2005). Contudo, a sua aplicação frequente tem um elevado impacto a nível económico e ambiental (Pearson et al., 1995). De forma a encontrar alternativas sustentáveis que minimizem a aplicação dos reguladores de crescimento, tem-se vindo a assistir nos últimos anos a um aumento da investigação nesta matéria (Bachman & McMahan, 2006; Stavang et al., 2006; Carvalho et al., 2008). Neste estudo pretendeu-se analisar a informação disponível acerca dos diferentes factores envolvidos na altura das plantas e compreender os mecanismos fisiológicos que estão na base do alongamento do caule. Essa informação foi posteriormente integrada de forma a definir alternativas sustentáveis para produzir plantas compactas, reduzindo ao mínimo o recurso a ‘reguladores químicos de crescimento’.

Factores envolvidos na altura das plantas

O comprimento total do caule depende quer do número de entrenós, quer do comprimento dos mesmos. Como tal, o alongamento do caule está fortemente correlacionado com a taxa de formação de entrenós (TFE) e com a taxa de alongamento dos entrenós (Pearson et al., 1995). Na maioria das espécies a TFE é predominantemente controlada pela temperatura, podendo haver em algumas espécies uma

influência, ainda que mais reduzida, da intensidade luminosa. Em espécies que apresentam um crescimento do tipo determinado (i.e. com floração apical), a formação de novos entrenós termina aquando da iniciação floral (ex. crisântemo, kalanchoe, lilium, poinsettia, etc.). Deste modo, todas as condições de crescimento que promovam uma floração precoce irão resultar em plantas com menos entrenós e, conseqüentemente, mais curtas. Por exemplo, garantindo a temperatura óptima de floração, o fotoperíodo mais indutivo ou um tratamento de frio prolongado (em espécies que requerem vernalização) acelera a entrada em floração. Em espécies de crescimento determinado, após a iniciação floral, o aumento do comprimento do caule depende apenas do alongamento dos entrenós (Carvalho et al., 2008).

Relativamente ao alongamento dos entrenós, trata-se de um processo mais complexo e são várias as condições de crescimento que têm sido identificadas como estando envolvidas no mesmo, nomeadamente: temperatura, luz (intensidade e qualidade), fotoperíodo e concentração de CO₂, assim como a existência de interações entre estes factores climáticos (Carvalho et al., 2008). Além das condições climáticas, a densidade de plantação e o tamanho do vaso também podem ter um efeito significativo no comprimento dos entrenós, devido ao efeito indirecto que exercem no microclima ao nível da canópi vegetal (Almeida, 2005). Também o ambiente na rizosfera (ex. redução da disponibilidade de nutrientes e de água, aumento da condutividade eléctrica) e a aplicação de factores de stress (stress mecânico e por aplicação de água fria nos meristemas apicais) têm sido identificados como tendo um efeito significativo na redução do alongamento dos entrenós (Carvalho et al., 2008). Porém, a maioria da investigação nesta área tem sido focada na manipulação da temperatura e da qualidade da luz, uma vez que estas condições de crescimento demonstraram uma maior influência no alongamento dos entrenós.

A manipulação da temperatura para regular o alongamento dos entrenós é utilizada na prática para uma vasta gama de plantas ornamentais (quadro 1). Por exemplo, existem várias espécies de plantas ornamentais que cuja altura é fortemente influenciada pela temperatura média diária. No *Kalanchoe blossfeldiana* observou-se que plantas cultivadas a uma temperatura constante de 26°C eram

60% mais altas que plantas cultivadas a 18°C (Carvalho et al., 2006). Como a taxa de alongamento do caule não é constante durante o ciclo diurno/nocturno, o conceito da amplitude térmica diária (tratamento DIF, i.e. DIFerença entre a temperatura diurna e temperatura nocturna; Erwin et al., 1989) tem sido amplamente utilizado em horticultura ornamental. Vários estudos demonstraram que uma temperatura nocturna superior à temperatura diurna (DIF negativa) resulta em plantas mais compactas, enquanto dias mais quentes que as noites (DIF positiva) aumentam a extensão dos entrenós, resultando em plantas mais altas (Myster & Moe, 1995). Dependendo da espécie em causa, o tratamento DIF é frequentemente mais efectivo que a redução da temperatura média diária (quadro 1). Esse é o caso do crisântemo de corte, liliun entre outras espécies em que se observou uma forte correlação positiva entre o comprimento do entrenó e a DIF (ex. fig. 1; Carvalho et al., 2002). Uma estratégia alternativa ao chamado tratamento DIF convencional, é uma redução da temperatura durante apenas um curto espaço de tempo (tratamento DROP; quadro 1). A eficácia destes tratamentos térmicos depende não só da espécie em causa como também da amplitude térmica utilizada, da duração do tratamento e da fase do ciclo de cultivo em que este é aplicado (geralmente mais eficaz nos períodos de rápido crescimento da planta). A mudança da temperatura nestes tratamentos térmicos é geralmente aplicada durante a última parte da noite ou a primeira parte do dia, já que estes são considerados os momentos em que a taxa de alongamento dos entrenós apresenta uma maior sensibilidade à temperatura (Myster & Moe, 1995). Vários estudos demonstraram a existência de uma interacção entre a luz (intensidade, qualidade e fotoperíodo) e o tratamento DIF, pelo que estes processos se tornam bastante difíceis de compreender. Como tal, pensa-se que a percepção da luz é uma componente importante na redução do alongamento dos entrenós quando sujeitos a estes tratamentos térmicos (Myster & Moe, 1995).

No que respeita à manipulação do espectro luminoso, é sabido que a altura da planta é regulada pela acção do fitocromo e da intensidade de luz azul, em que o aumento da radiação de luz vermelha ou luz azul inibe o alongamento dos entrenós e promove a ramificação, enquanto a luz vermelho-longínquo estimula o seu alongamento (Oyaert et al., 1999).

Mecanismos fisiológicos envolvidos no processo de alongamento do caule

O alongamento do caule é baseado em dois processos celulares básicos: a divisão e expansão celular, em que este último inclui o aumento do comprimento e da largura da célula. A divisão celular é principalmente regulada pela temperatura média diária. Uma redução da temperatura média diária conduz a uma diminuição da divisão celular, mas este efeito é transitório, pelo que poderá não se manifestar na altura final da planta (E Runkle, pers. Comm.). Já a expansão celular parece ser um processo mais complexo sendo estimulado pelas giberelinas, que por sua vez, são fortemente influenciados pela DIF e pela qualidade da luz.

Apesar de terem sido conduzidos muitos estudos na temática do controlo da altura das plantas ao longo dos últimos anos, existe ainda um número limitado de trabalhos que se focaram na compreensão da base fisiológica do alongamento do caule. Por exemplo, apesar de se assumir que as giberelinas têm um papel fundamental no alongamento dos entrenós, a forma como a DIF negativa reduz o nível de giberelinas bioactivas é ainda pouco conhecido.

Baseados na interpretação da literatura disponível, Carvalho et al. (2008) formularam a hipótese de que para haver alongamento dos entrenós é necessário um conjunto substâncias, as quais foram designadas genericamente como ‘requisitos de alongamento’ (RA). A natureza exacta destes RA não é conhecida, mas prevê-se que estas substâncias se tratem quer de fotoassimilados quer de formas inactivas de giberelinas. Estes RA são acumulados durante o dia, sendo influenciados pela temperatura diurna, enquanto a temperatura nocturna controla a conversão destas substâncias em alongamento (Schouten et al., 2002). A disponibilidade de água é também necessária para o processo de alongamento dos entrenós, o qual se torna limitado pela elasticidade da parede celular, sendo esta influenciada pela temperatura diurna e nocturna.

Alternativas sustentáveis aos reguladores de crescimento: aplicações práticas para cultivos protegidos

Manter uma temperatura nocturna superior à temperatura diurna (DIF negativa ou tratamento DROP) ou a alteração do espectro

luminoso (elevado rácio vermelho/vermelho-longínquo) apresentam um forte potencial como métodos não químicos no controlo da altura de várias espécies de plantas ornamentais. Apesar das limitações associadas aos regimes térmicos DIF e DROP (nomeadamente os elevados custos energéticos, as dificuldades subjacentes à necessidade de obter uma temperatura nocturna superior à temperatura diurna, assim como a necessidade de uma aplicação durante a maioria do ciclo de cultura - devido à reduzida persistência do seu efeito na altura da planta), apenas estes métodos têm sido largamente implementados na produção comercial de plantas ornamentais de forma a reduzir a aplicação de reguladores de crescimento. Paralelamente, muitas tentativas foram feitas para remover do espectro luminoso o estímulo ao alongamento, causado pela luz vermelho-longínquo, nomeadamente através de filmes fotoselectivos (ex. Oyaert et al., 1999; Clifford et al., 2004). A razão pela qual estes filmes não são ainda utilizados comercialmente, prende-se com o seu efeito indirecto na redução da intensidade luminosa tendo consequências negativas quer ao nível do crescimento e da qualidade das plantas, quer no atraso verificado na floração (aumentando o ciclo de cultivo). Contudo, existe um conjunto de medidas facilmente aplicáveis que resultam na diminuição da transmissão de luz vermelho-longínquo, reduzindo assim a altura das plantas. Por exemplo, aquando da escolha do tipo de lâmpadas para utilização como luz suplementar ou para extensão do fotoperíodo, dever-se-á optar por lâmpadas com elevado rácio vermelho/vermelho-longínquo (ex. lâmpadas de assimilação em substituição de lâmpadas incandescentes). Outro aspecto importante que não deverá ser negligenciado é o facto de existir uma variação natural no espectro luminoso durante o dia, verificando-se uma diminuição natural do rácio vermelho/vermelho-longínquo no final do dia. Como tal, a exposição das plantas à radiação do crepúsculo deverá ser evitada, recorrendo a redes de *blackout* (Lund et al., 2007). Evitar uma densidade de plantação muito elevada e não pendurar outras plantas ornamentais por cima da cultura (a folhagem das plantas mais altas absorve a maioria da luz vermelha e transmite ou reflecte a luz vermelho-longínquo) são práticas relevantes quando se pretendem produzir plantas compactas.

Neste estudo, conclui-se que apesar de existir um conjunto de factores que têm a capacidade de reduzir significativamente o comprimento das plantas, em termos práticos, o seu efeito é

relativamente limitado em comparação com os efeitos induzidos pela temperatura ou pela qualidade da luz. Porém, a combinação de várias estratégias que limitam o alongamento do caule deverá resultar no controlo desejado da altura da planta. Parte das estratégias acima indicadas são facilmente aplicáveis, uma vez que requerem pouco ou nenhum investimento, sendo apenas necessário efectuar pequenas intervenções no sistema de cultura. Assim, de um modo geral, o recurso a amplitudes térmicas negativas (DIF negativa e tratamento DROP) poderá garantir um controlo efectivo em períodos de temperatura e radiação mais baixos. Por sua vez, os filmes fotoselectivos têm mais interesse durante o Verão, uma vez que nessa estação do ano uma redução da intensidade luminosa ao nível da vegetação é menos importante para o crescimento e qualidade da planta. Para atingir resultados mais eficazes, estas medidas poderão ser ainda combinadas com uma redução da disponibilidade água e nutrientes (principalmente fósforo, mas também azoto e potássio), aplicação de stress mecânico (vibração por escovagem ou corrente de ar) e/ou controlo do fotoperíodo. Paralelamente, o Melhoramento de plantas poderá ter um papel fundamental no desenvolvimento de cultivares compactas (fig. 2).

Conclusões

Para otimizar a eficácia do controlo da altura das plantas é ainda necessário um conhecimento mais detalhado dos mecanismos fisiológicos que estão na base do alongamento dos entrenós. O estudo dos efeitos combinados do tratamento DIF e do fitocrómo tem um elevado interesse pois estes factores são os mais determinantes no alongamento dos entrenós. Seria ainda relevante investigar o efeito da manipulação da qualidade da luz nos períodos mais sensíveis do alongamento do caule. Por exemplo, os efeitos da utilização de LEDs para aumentar o rácio vermelho/vermelho-longínquo no fim do dia e a utilização de redes do tipo *black-out* para a eliminação do estímulo do crepúsculo no alongamento do caule deveriam ser avaliados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Comissão Holandesa para a Horticultura ('Productschap Tuinbouw') e à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Portugal) pelo apoio financeiro.

Referências

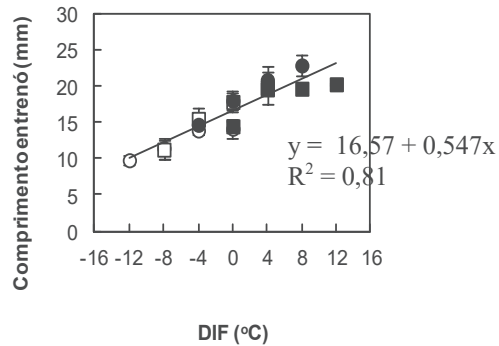
- Almeida, J. 2005. Modelling external quality in Kalanchoe: testing the effects of pot size and growth season in eight Kalanchoe blossfeldiana cultivars. MSc thesis, Wageningen University, 65 pp.
- Bachman, G.R. & McMahon, M.J. 2006. Day and night temperature differential (DIF) or the absence of far-red light alters cell elongation in 'Celebrity White' in petunia. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131: 309-312.
- Carvalho, S.M.P. & Heuvelink, E. 2001. Influence of greenhouse climate and plant density on external quality of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura): First steps towards a quality model. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 76: 249-258.
- Carvalho, S.M.P., Eveleens-Clark, B. & Heuvelink, E. 2005. Plant height formation in different cultivars of kalanchoe. *Acta Horticulturae* 691: 83-89.
- Carvalho, S.M.P., Heuvelink, E., Cascais, R. & Van Kooten, O. 2002. Effect of day and night temperature on internode and stem length in chrysanthemum: is everything explained by DIF? *Annals of Botany* 90: 111-118.
- Carvalho, S.M.P., van Noort, F., Postma, R. & Heuvelink, E. 2008. Possibilities for producing compact floricultural crops. Wageningen UR Greenhouse Horticulture. Report 173. 55 pp.
- Carvalho, S.M.P., Wuillai, S.E. & Heuvelink, E. 2006. Combined effects of light and temperature on product quality of Kalanchoe blossfeldiana. *Acta Horticulturae* 711: 121-126.
- Clifford, S.C., Runkle, E.S., Langton, F.A., Mead, A., Foster, S.A., Pearson, S. & Heins R.D. 2004. Height control of poinsettia using photoselective filters. *HortScience* 39: 383-387.
- Dijkshoorn-Dekker, M. 2002. Crop quality control system: a tool to control the visual quality of potplants. PhD Diss., Wageningen Univ., The Netherlands.
- Erwin, J.E., Heins, R.D. & Karlsson, M.G. 1989. Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum*. *American Journal of Botany* 76: 47-52.
- Moe, R. & Heins, R.D. 2000. Thermo- and photomorphogenesis in plants. In: Strømme E., ed. *Advances in floriculture research*. Report no. 6/2000. Agricultural University of Norway. Oslo: Spekter, 52-64.

- Oyaert, E., Volckaert, E. & Debergh, P.C. 1999. Growth of chrysanthemum under coloured plastic films with different light qualities and quantities. *Scientia Horticulturae* 79: 195-205.
- Pearson, S., Hadley, P. & Wheldon, A.E. 1993. A reanalysis of the effects of temperature and irradiance on time to flowering in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). *Journal of Horticultural Science*. 68: 89-97.
- Schouten, R.E., Carvalho, S.M.P., Heuvelink, E. & Van Kooten, O. 2002. Modelling of temperature-controlled internode elongation applied to chrysanthemum. *Annals of Botany* 90: 353-359.
- Stavang, J.A., Olsen, J. & Moe, R. 2006. The role of light and gibberellin deactivation in thermoperiodic stem elongation - a mini review. *Acta Horticulturae* 11: 381-384.

Quadro 1 - Recomendação de diferentes regimes térmicos para aplicação em horticultura ornamental protegida de forma a obter plantas mais compactas. Abreviaturas: DC = plantas de dias curtos; DIF negativa = amplitude térmica negativa (i.e. $TN < TD$); DL = plantas de dias longos; DN = plantas de dias neutros; DROP = redução da temperatura durante um curto espaço de tempo; TD = temperatura diurna; TN = temperatura nocturna. Adaptado de: Moe & Heins (2000).

Regime térmico	Plantas ornamentais (género)
(1) Redução temperatura média diária	DC: <i>Kalanchoe, Impatiens, Petunia</i>
(2) DIF negativa	DC: <i>Aster, Begonia, Chrysanthemum, Dahlia</i> DL: <i>Antirrhinum, Campanula, Dianthus, Fuchsia, Petúnia, Salvia</i> DN: <i>Cyclamen, Gerbera, Impatiens, Lilium, Pelargonium, Viola</i>
(3) DROP	DC: <i>Begonia, Euphorbia, Lilium, várias plantas de canteiro</i>
(4) DIF negativa + DROP	Mesmas espécies que em (2) e (3), muito efectivo em plantas de cobertura (ex. <i>Viola</i>)

A



B



Figura 1 - Efeito da amplitude térmica diária [temperatura diurna (TD) – temperatura noturna (TN)] no comprimento dos entrenós (A) e no comprimento do caule (B) em crisântemo de corte. Os símbolos representam 16 combinações de temperaturas diurnas e noturnas, com uma temperatura diurna de: ○ 16°C; □ 20°C; ● 24°C; ■ 28°C. Fig. 1 B (da esquerda para a direita): 16°C TD/ 24°C TN (-8 DIF); 20°C TD/ 20°C TN (0 DIF); e 24°C TD/ 16°C TN (+8 DIF). Adaptado de: Carvalho et al. (2002).



Figura 2 - Elevada variação genotípica na altura das plantas em oito cultivares de *Kalanchoe blossfeldiana* produzidas nas mesmas condições de crescimento, em vasos de 10,5 cm e sem aplicação de reguladores de crescimento (da esquerda para a direita: ‘Delia’, ‘Pandora’, ‘Mie’, ‘Debbie’, ‘Anatole’, ‘Alejandra’, ‘Tenorio’ e ‘Toleda’). Altura da planta variou de 10,2 cm ‘Delia’ até 25,6 cm ‘Toleda’.