

Crescimento, teor de partenólídeo e de prolina em plantas de *tanacetum parthenium* (L.) Schultz-Bip crescidas em substrato com diferentes teores de umidade

Luciana Marques de Carvalho¹, Vicente Wagner Dias Casali², Márcio A. de Souza², Luiz Cláudio de Almeida Barbosa³ e Paulo Roberto Cecon⁴

¹Embrapa Tabuleiros Costeiros, C.P. 44, 49025-040, Aracajú, Sergipe, Brasil. ²Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ³Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais. ⁴Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. Com o objetivo de determinar o efeito do teor de umidade do substrato sobre o teor de partenólídeo na parte aérea das plantas, cultivou-se a artemísia [*Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip.] em vasos de 5 L com substrato mantido a 100%, 90%, 70% ou 50% da capacidade de campo. Nos níveis de maior disponibilidade hídrica no substrato, verificou-se maior altura, número de folhas, área foliar total e teor de partenólídeo. No menor nível de disponibilidade de água no solo verificou-se redução de 16% na altura das plantas, de 13% no número de folhas, de 14% na área foliar total e de 28% no teor de partenólídeo, além de aumento no teor de prolina. Conclui-se que os maiores teores de umidade no substrato são mais indicados à produção de plantas com maior teor de partenólídeo.

Palavras-chave: planta medicinal, deficiência hídrica, princípio ativo.

ABSTRACT. Growth, parthenolide and proline contents in *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip. in substratum of different humidity contents. Aiming at determining the effect of soil's water levels on the parthenolide contents of plants aerial parts, this experiment used feverfew [*Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip.], grown in 5-L vases, with substratum kept at 100%, 90%, 70% and 50% field capacity. In the substratum highest water availability levels, plants showed larger height, more leaves, higher total leaf area and higher parthenolide content. In the lowest water availability level, the following decreases were verified: 16% in plants height, 13% in number of leaves, 14% in leaf area and 28% in parthenolide content, and an increase in the proline content. This suggests that higher water levels in soil are more appropriate for producing plants with larger parthenolide content.

Key words: medicinal plants, water deficit, active principle.

Introdução

O crescente interesse na espécie *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz-Bip. [sinonímia = *Chrysanthemum parthenium* L. Bern.] (Asteraceae) se deve a sua utilização na profilaxia da enxaqueca (Hendriks *et al.*, 1997). A literatura etnobotânica registra o uso medicinal de inflorescências e folhas, por via oral e local, no tratamento caseiro de enfermidades como mal estar gástrico, diarreia, cólicas, reumatismo, câimbra, vermes, além de dores de cabeça, de modo geral (Lorenzi e Matos, 2002). Essa planta é nativa na Grécia e em outros países do Sudeste Europeu e da Ásia Menor, estando bem estabelecida em outras regiões da Europa, na América do Norte e do Sul e no Nordeste da África (Hendriks *et al.*, 1997; Brown *et al.*, 1999).

É cultivada como planta anual, fortemente

aromática, tem caule vertical e ereto, rígido, coberto por pêlos, com altura variando de 25 a 120 cm. O forte odor característico da espécie é decorrente das altas concentrações de terpenos voláteis, constituintes do óleo essencial, encontrado especialmente em folhas e inflorescências (Berry, 1984; Abad *et al.*, 1995; Figueiredo, 1998). Produz cerca de trinta lactonas sesquiterpênicas, sendo o partenólídeo identificado em 1982 no extrato da parte aérea, a lactona sesquiterpênica predominante nessas plantas (Bohlmann e Zdero, 1982; Dolman *et al.*, 1992; Kéry *et al.*, 1993).

Com a demanda crescente por plantas medicinais de qualidade na terapêutica ou prevenção de doenças, o cultivo torna-se cada dia mais importante. Na produção de plantas medicinais, há diversos aspectos - intrínsecos, ambientais e técnicos - que influem na área cultivada e, conseqüentemente, na produção de

metabólitos pela planta e utilização destes na elaboração de medicamentos (Ming, 1994). Entre as condições ambientais desfavoráveis às plantas, a deficiência hídrica destaca-se como fator adverso ao crescimento e à produção vegetal (Chartzoulakis e Drosos, 1997; Schuch *et al.*, 1998).

A deficiência de umidade afeta vários processos bioquímicos e fisiológicos e induz respostas metabólicas e fisiológicas, como o fechamento estomático, declínio na taxa de crescimento, acúmulo de solutos, de substâncias antioxidantes e expressão de genes específicos de estresse (Steponkus, 1990; Singh-Sangwan *et al.*, 1994). A perda de água pode reduzir o potencial hídrico das plantas, causando diminuição na turgescência, condutância estomática, fotossíntese e, finalmente, menores crescimento e produtividade (Kumar e Singh, 1998).

Em algumas espécies de plantas, a deficiência hídrica pode induzir ajuste osmótico resultando, durante a condição de seca, na manutenção da turgescência celular a baixos potenciais hídricos. O ajuste osmótico é importante mecanismo de tolerância à seca, porque capacita a planta a continuar a expansão celular, realizar ajustes estomáticos e fotossintéticos, otimizar o crescimento vegetal e ter, em alguns casos, produção rentável (Heuer, 1994; Kumar e Singh, 1998). Em decorrência da sua importância no ajuste osmótico, a prolina é a molécula mais estudada em plantas submetidas a estresses abióticos (Heuer, 1994; Madan *et al.*, 1995).

Detalhes significativos das respostas fisiológicas e metabólicas das plantas cultivadas em ambientes secos são conhecidos, mas sobre o comportamento das plantas medicinais e aromáticas com limitada disponibilidade de umidade pouco se sabe (Singh-Sangwan *et al.*, 1994). O modo como o teor dos metabólitos secundários é alterado em resposta ao estresse por deficiência hídrica não é, ainda, especificamente bem caracterizado em muitas espécies de plantas. O efeito varia com a espécie, o tempo e a intensidade da condição estressante (English-Loeb *et al.*, 1997). O objetivo deste estudo foi determinar efeitos de quatro teores de umidade do substrato sobre o crescimento, teor de prolina e de partenólido na parte aérea de plantas de *T. parthenium*.

Material e métodos

Plantas de *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz.-Bip, obtidas de sementes cedidas pelo Grupo Entre Folhas – Plantas Medicinais (Viçosa, MG, Brasil), foram transplantadas aos 35 dias após sementeira, em vasos plásticos de cinco litros, preenchidos com

substrato constituído por terra, areia, esterco de bovinos decomposto, na proporção de 3:2:1, quando tinham, em média, 8,5 cm de altura e 15 a 20 folhas. O solo dos vasos na fase de produção de mudas foi irrigado diariamente por meio de regador de crivos finos, até o ponto em que, devido à drenagem, começava a sair a água em excesso dos vasos. Desse modo, também manteve-se o substrato de cultivo das plantas na capacidade de campo até 52 dias após a sementeira, quando iniciaram-se os tratamentos.

O experimento foi conduzido a pleno sol, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa (20° 45'S, 650 m de altitude), Estado de Minas Gerais, Brasil, no período de maio a setembro de 1999. Na Tabela 1 constam os dados meteorológicos ocorrentes na região experimental. O experimento foi instalado segundo o esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os níveis de água no substrato dos vasos e nas subparcelas as épocas de colheita, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os dados obtidos foram analisados utilizando-se a técnica de superfície de resposta. Os modelos foram escolhidos baseando-se na significância dos coeficientes de regressão, por meio do teste de t, a 5% de probabilidade e no coeficiente de determinação.

Tratamentos

Os tratamentos constituíram-se da combinação de quatro teores de umidade do substrato (100%, 90%, 70% e 50% da capacidade de campo) e de quatro épocas de amostragem (30, 60, 90 e 120 dias após início do controle hídrico). A capacidade de campo foi determinada previamente, por meio de curva de retenção de umidade a partir do solo seco, peneirado e homogeneizado em laboratório, segundo técnicas de rotina do Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa.

O estabelecimento e o controle dos níveis de água do substrato foram feitos nos vasos de todos os blocos, de cada nível de água, por meio do monitoramento diário da massa de uma amostra de cada bloco, constituída por quatro vasos, incluindo o substrato e a planta. Previamente, determinou-se a massa referência, ou seja, a massa que cada vaso deveria ter, em cada nível hídrico. Isso foi feito a partir dos dados da massa do vaso vazio, da massa do vaso com substrato seco e umedecido na capacidade de campo e do grau de umidade do substrato na capacidade de campo. A cada dia, após a pesagem dos vasos, comparava-se essa massa com a massa referência, calculava-se a diferença, completando-se a massa do vaso com o volume de água correspondente (Carvalho, 2001).

Tabela 1. Médias mensais dos dados meteorológicos de Viçosa (20° 45' S, 650 m de altitude), Estado de Minas Gerais, de março a setembro de 1999.

Dados Meteorológicos	Meses						
	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Temp. média do ar (°C)	22,10	20,58	17,20	16,56	17,02	16,10	19,31
Temp. máxima do ar (°C)	28,52	27,76	25,35	24,54	24,38	25,91	27,06
Temp. mínima do ar (°C)	17,86	16,14	11,67	11,53	12,41	8,95	12,79
Umidade relativa média (%)	84,26	82,26	80,23	82,78	81,79	71,84	67,04
Velocidade média do vento (m/s)	1,46	0,98	1,15	0,89	0,96	0,91	1,73
Precipitação total (mm)	273,7	36,5	2,0	13,2	4,2	0,0	50,7
Evaporação média (mm)	2,55	2,48	3,09	2,70	2,62	4,02	5,19
Insolação média (h)	6,72	7,05	8,12	5,22	5,65	7,9	6,7

Fonte: Distrito Meteorológico de Viçosa (MG).

As épocas de amostragem ou de colheita foram determinadas a partir dos resultados de Hendriks *et al.* (1997) e de Figueiredo (1998), com plantas de *Tanacetum parthenium* cultivadas em casa de vegetação. As colheitas foram feitas manualmente, cortando-se o caule rente ao substrato dos vasos com tesoura de poda, sempre entre 7h e 9h 30min. As plantas, logo que colhidas, foram colocadas separadamente em sacos de papel tipo Kraft, previamente identificados e levadas à sala de secagem do Grupo Entre-Folhas onde desidrataram sobre bandejas de madeira, com fundo em tela plástica, à temperatura ambiente e umidade mantida em torno de 50% (câmara seca), por meio de desumidificador comercial - com capacidade de 18 L/dia em 280 m³, circulação 600 m³/hora, motor 390 watts e 110 volts - durante cerca de 20 dias. Posteriormente, foram utilizadas na determinação do teor de partenólido.

Determinações fisiológicas

Os efeitos dos níveis de água do substrato sobre o crescimento das plantas foram estimados por meio de determinações periódicas da altura, número de folhas e da área foliar total das plantas, segundo Figueiredo (1998) e Carvalho (2001). Além disso, registrou-se a data de emissão de botão floral em cada vaso, em função dos dias após início dos tratamentos hídricos.

A área foliar total das plantas foi quantificada, inicialmente, em medidor de área foliar portátil Licor, modelo 3000. Nessas mesmas plantas foram realizadas, concomitantemente, medidas de maior comprimento e largura das folhas maior, menor e de dimensões médias, que foram submetidos juntamente com os valores de área foliar, à regressão múltipla, visando estimar a equação que mais se ajustasse aos dados ($\hat{Y} = 4,46065 + 1,15393C - 0,0241692 C^2 - 5,03714 L + 0,701271L^2 + 0,192815CL$). Assim, no decorrer do experimento foi possível estimar a área das folhas sem retirá-las das plantas (Carvalho, 2001).

A massa fresca foi determinada, por meio de balança analítica, a partir de plantas coletadas manualmente, obtidas pelo corte do caule rente ao

solo com tesoura de poda, sempre no horário compreendido entre 17h e 18h horas. A primeira colheita foi realizada apenas 60 dias após o transplantio, e as colheitas seguintes foram quinzenais, segundo resultados de Hendriks *et al.* (1997) e de Figueiredo (1998).

Determinações químicas

A extração de prolina foi feita, em cada época de colheita, a partir de amostras de 300 mg de folhas frescas homogeneizadas em 10 mL de ácido sulfosalicílico 3%, por cerca de dois minutos. A estimativa do teor de prolina foi feita segundo método colorimétrico de Bates *et al.* (1973).

A extração de partenólido foi realizada de acordo com o método descrito por Brown *et al.* (1997, 1999), com adaptações (Carvalho, 2001; Carvalho *et al.*, 2003). O partenólido foi extraído a partir de amostras de 200 mg da parte aérea (folhas, botões florais e inflorescências) desidratada em sala à temperatura ambiente e umidade mantida, por meio de desumidificador, em 50% e pulverizada em moinho mecânico. O teor de partenólido foi quantificado, em cada amostra, por cromatografia gasosa, segundo Hendriks *et al.* (1997), Carvalho (2001) e Carvalho *et al.* (2003), sendo expresso em porcentagem e em massa de partenólido por planta individual.

Resultados e discussão

Fixando-se o nível de água no substrato dos vasos, verificou-se maior altura, 0,61 m (máxima aos 116 dias após início do controle do nível de água no substrato), nas plantas crescidas a 90% da capacidade de campo. Portanto, nesse ponto, a diminuição na disponibilidade de água no substrato, de 90% para 50% da capacidade de campo, causou redução de 16% na altura das plantas (Tabela 2; Figura 1). Esses dados são similares aos descritos por Schuch *et al.* (1998) em plantas de *Chrysanthemum* mantidas em sistema de reduzido volume de irrigação (30% a menos do que o controle) por dez semanas

consecutivas. Segundo Kudrev (1994), a deficiência hídrica interrompe o processo de crescimento, alterando o acúmulo de massa fresca e acelerando os processos catabólicos.

Tabela 2. Tempo médio de emissão de botões florais, e número médio, em porcentagem, de plantas de *Tanacetum parthenium* com botão, em cada parcela.

Nível de água	Tempo médio para aparecer botão floral (dias)	Número de plantas com botão/ parcela (%)
100% CC*	97,0	40,6
90% CC	81,0	68,8
70% CC	89,0	62,5
50% CC	94,0	50,0

* capacidade de campo (CC).

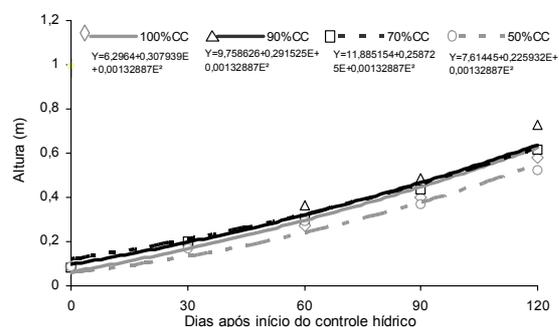


Figura 1. Altura de plantas de *Tanacetum parthenium*, crescidas em vasos nas condições de 50%, 70%, 90% e 100% da capacidade de campo (CC) do substrato, em função dos dias após início do controle hídrico.

Fixando-se o teor de umidade do substrato, foram obtidos valores máximos de área foliar total por planta no 65º dia após início do controle hídrico do substrato, nas plantas a 70% da capacidade de campo ($0,59 \text{ m}^2$), seguidas das plantas a 90% da capacidade de campo ($0,56 \text{ m}^2$), e das plantas a 100% ($0,49 \text{ m}^2$) ou 50% ($0,48 \text{ m}^2$) da capacidade de campo (Tabela 2; Figura 2a). Por conseguinte, aos 65 dias após o início da disponibilidade de umidade no substrato, a redução no teor de umidade do substrato de 90% para 50% causou decréscimo de 14% na área foliar total, enquanto que a redução no teor de umidade de 90% para 70% causou incremento de 5% na área foliar total por planta.

A diminuição na disponibilidade hídrica causou ainda redução no número de folhas (Tabela 2; Figura 2b). Fixando-se o teor de umidade do substrato, o número máximo de folhas ocorreu nas plantas crescidas a 90% ou 70% da capacidade de campo (160 folhas), 103 dias após início do controle hídrico, enquanto que nas plantas mantidas a 100% ou 50% da capacidade de campo do substrato verificou-se, respectivamente, 152 e 139 folhas nesse mesmo dia (Tabela 2 e Figura 2b).

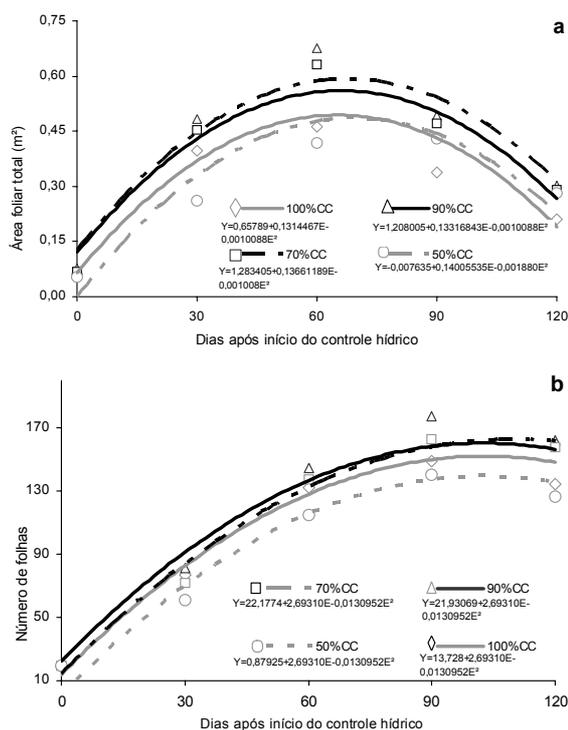


Figura 2. Área foliar total por planta (a) e número de folhas (b) de plantas de *Tanacetum parthenium*, crescidas em vasos nas condições de 50%, 70%, 90% e 100% da capacidade de campo (CC) do substrato, em função dos dias após início do controle hídrico.

Com base nos valores de altura, número de folhas e área foliar total, pode-se concluir que houve redução no crescimento das plantas mantidas a 50% da capacidade de campo. Provavelmente, essa redução deveu-se à inibição ou interrupção do crescimento de raízes como resultado da diminuição no suprimento de nutrientes às plantas. De fato, crescimento lento e reduzido é característico de plantas adaptadas a ambientes deficientes em algum recurso ambiental (Winter, 1988; Chapin III, 1991; Shinozaki *et al.*, 1999).

As plantas crescidas a 90% da capacidade de campo foram também as primeiras a emitir botão floral. Isso ocorreu, em média, 81 dias após início do controle hídrico do substrato, ou seja, 133 dias após a semeadura. Além disso, o número de plantas em floração, com botão e ou inflorescências completamente abertas até o fim do experimento, foi superior nas plantas desse tratamento. O maior atraso no aparecimento de botão floral aconteceu nas plantas a 100% da capacidade de campo, seguidas pelas plantas a 50% da capacidade de campo, condições em que se verificou menor número de plantas com botão floral (Tabela 2).

As plantas crescidas a 50% da capacidade de campo do substrato tiveram, além de menor crescimento, evidenciado pelos valores de altura, área

foliar total e número de folhas, aumento de mais de duas vezes no teor de prolina livre, o que, segundo Bates *et al.* (1973), indica estresse. O teor de prolina livre nas folhas de *T. parthenium* mantidas a 100%, 90% ou 70% da capacidade de campo variou de 9 a 14 $\mu\text{g/g}$ de massa fresca, enquanto que nas plantas mantidas em substratos a 50% da capacidade de campo variou de 27 a 32 $\mu\text{g/g}$ de massa fresca (Tabela 2; Figura 3).

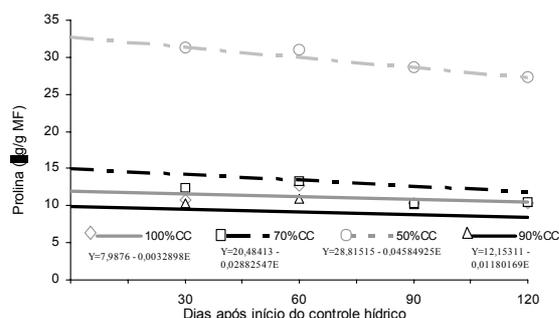


Figura 3. Teor de prolina de folhas de *Tanacetum parthenium* nas condições de 100%, 90%, 70% e 50% da capacidade de campo (CC) do substrato, em função da época de colheita, em dias após início do controle hídrico.

A tendência a aumento no teor de prolina livre em plantas crescidas em condição de deficiência hídrica tem sido constatada pela pesquisa (Marur *et al.*, 1994; Singh-sangwan *et al.*, 1994; Kumar e Singh, 1998; Somal e Yapa, 1998). Acredita-se que aminoácidos livres, como a prolina, protejam os tecidos vegetais contra esses estresses por servirem como reserva de nitrogênio, osmo-soluto e protetor hidrofóbico de enzimas e estruturas celulares (Madan *et al.*, 1995; Somal e Yapa, 1998). Navari-Izzo *et al.* (1990), citados por Marur *et al.* (1994), sugeriram que o aumento no teor de aminoácidos livres poderia contribuir na tolerância da planta à deficiência hídrica por meio de aumento no potencial osmótico, ou como reserva de nitrogênio, principalmente na síntese de enzimas específicas.

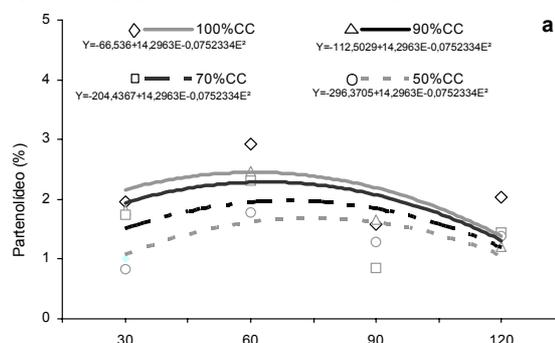
O mecanismo de acúmulo de prolina em situações estressantes, entretanto, não é ainda claramente entendido. Decréscimo nos níveis de proteína poderia, segundo Marur *et al.* (1994), refletir em diminuição da síntese ou em aumento da degradação, levando a altos níveis de aminoácidos livres. Segundo Madan *et al.* (1995), o maior teor de prolina pode ser devido, também, à maior atividade das enzimas envolvidas na biossíntese de prolina (ornitina aminotransferase e pirrolina-5-carboxilase reductase), tanto quanto devido à inibição da enzima de degradação, a prolina oxidase. Desde que os efeitos de deficiência hídrica dependem da espécie, tecido e idade, tanto quanto da natureza, duração e intensidade do estresse, não é surpreendente que marcantes diferenças venham sendo encontradas no padrão de

aminoácidos em plantas em condição de estresse (Marur *et al.*, 1994).

Nas plantas de *T. parthenium* crescidas sob condição de deficiência hídrica, verificou-se menor teor de partenolídeo do que nas plantas crescidas nos demais níveis hídricos (Tabela 2; Figura 4b). Segundo English-Loeb *et al.* (1997), é pouco conhecida a influência do grau de umidade sobre as defesas baseadas em compostos não-nitrogenados, enquanto as defesas baseadas em compostos nitrogenados, como os alcalóides, tendem a aumentar em resposta ao estresse hídrico. Em muitos casos, entretanto, tem sido verificado que a deficiência hídrica moderada resulta em níveis aumentados de defesas não baseadas em nitrogênio, tais como taninos, resinas, e óleos. Singh-Sangwan *et al.* (1994) verificaram, em plantas de *Cymbopogon pendulus* expostas por 90 dias à deficiência hídrica amena (intervalo de irrigação de dois dias) ou moderada (intervalo de irrigação de três dias), maior teor de óleo essencial (g/planta).

Há argumentos para a hipótese de que a resposta poderia ocorrer passivamente, desde que as plantas são rápidas em reduzir a taxa de crescimento em condição de estresse moderado, enquanto as taxas de fotossíntese seriam mantidas. Conseqüentemente, há acúmulo de carboidratos, que podem ser convertidos em substâncias de defesa. Segundo English-Loeb *et al.* (1997), estresses mais severos podem causar redução no teor de metabólitos secundários relacionados à defesa, bem como no crescimento e na fotossíntese, enquanto que estresses mais amenos podem ter conseqüências diferentes.

O teor de partenolídeo (612,6 mg/planta) foi máximo no 95º dia após o início do controle hídrico, nas plantas mantidas a 100% da capacidade de campo. Nas plantas a 90%, 70% e 50% da capacidade de campo do substrato, o teor máximo de partenolídeo por planta individual foi, respectivamente, 7,5%, 22,5% e 37,5% menor do que nas plantas crescidas na capacidade de campo, o que indica que o fator umidade do substrato assume importante papel no metabolismo do partenolídeo.



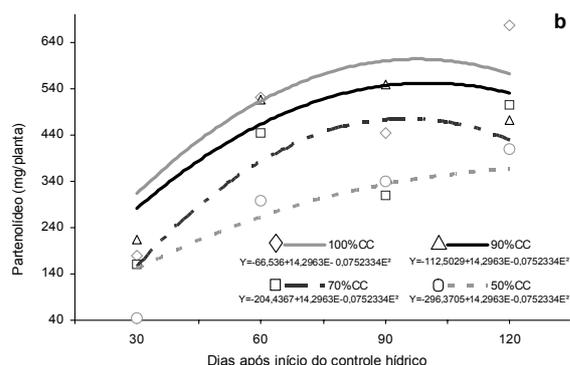


Figura 4. Teor de partenólido em 100g de massa desidratada (a) e teor de partenólido em miligrama por planta (b) de *Tanacetum parthenium* crescida nas condições de 50%, 70%, 90% e 100% da capacidade de campo (CC) do substrato, em função dos dias após início do controle hídrico.

Observando a Figura 4a, verifica-se que a redução no teor de partenólido por 100 gramas de massa desidratada de planta individual não decorre apenas de redução no crescimento. Fixando-se o nível hídrico do substrato, houve maior teor, em porcentagem, de partenólido nas plantas mantidas a 100% da capacidade de campo no 61º dia após início do controle hídrico do substrato (2,45%). Considerando-se a porcentagem de partenólido das plantas a 90% da capacidade de campo como parâmetro na comparação dos demais níveis de água, verifica-se teor 18% maior nas plantas a 100%, 5% menor nas plantas a 70%, e 28% menor nas plantas mantidas a 50% da capacidade de campo.

Enquanto a deficiência hídrica severa (substratos mantidos com 50% da capacidade de campo) causou redução em torno de 13% na produção de biomassa, a deficiência hídrica moderada (solos mantidos com 70% da capacidade de campo) proporcionou produção de biomassa cerca de 5% maior. O efeito da deficiência hídrica severa sobre o teor de partenólido foi ainda maior, apresentando redução de 28%, o que indica que essa alteração não é decorrente apenas do decréscimo na produção de biomassa. A diminuição na disponibilidade hídrica do substrato, portanto, reduziu a porcentagem de partenólido nas plantas. Dependendo da espécie, a deficiência hídrica pode aumentar, diminuir ou não ter efeito sobre os níveis de metabólitos secundários (Holtzer *et al.*, 1988, citado por Singh-Sangwan *et al.*, 1994). Além disso, o efeito varia muito em função do tipo de metabólito secundário, duração e intensidade da condição estressante.

Brown *et al.* (1997, 1999) obtiveram $1,72\% \pm 0,16\%$ de partenólido, a partir do extrato, em acetona, de lâminas foliares de *T. parthenium*. Esse teor é intermediário aos obtidos a partir de plantas crescidas a 70% (1,98%) e 50% da capacidade de campo do substrato (1,49%). Sugere-se, portanto, que

a porcentagem maior de partenólido detectada naquelas amostras de plantas crescidas na capacidade de campo é decorrente das condições de cultivo, particularmente do nível de água no substrato em que as plantas cresceram.

A redução na produção de metabólitos secundários terpenóides, em situação estressante, pode ser estratégia de sobrevivência da planta, já que, segundo Gershenzon (1994), o custo de produção de terpenóides, como o partenólido, é maior do que o da maioria dos metabólitos primários e secundários. Além disso, o custo energético de produção das enzimas biossintéticas é alto, porque essas enzimas aparentemente não são comuns a outras rotas metabólicas. Desse modo, a concentração desses metabólitos nas plantas, em geral, é na faixa de 1%-2% da massa seca, podendo, no entanto, alcançar 15%-20% da massa seca em algumas espécies (Peñuelas e Llusia, 1997).

À semelhança de *Cymbopogon pendulus* e *C. nardus*, as plantas de *Tanacetum parthenium* crescidas sob níveis reduzidos de água no solo, diminuem o crescimento, e investem no ajuste osmótico por meio do acúmulo de prolina, por exemplo, como estratégia para se adaptar à condição de estresse hídrico (Singh-Sangwan *et al.*, 1994).

Referências

- ABAD, M. J. *et al.* An approach to the genus *Tanacetum* L. (Compositae): Phytochemical and pharmacological review. *Phytotherapy Research*, London, v. 9, p. 79-92, 1995.
- BATES, L. S. *et al.* Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, Dordrecht, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BERRY, I. Feverfew faces the future. *Pharmaceutical J.*, Oxford, v. 232, p. 611-614, 1984.
- BOHLMANN, F.; ZDERO, C. Sesquiterpene lactones and other constituents from *Tanacetum parthenium*. *Phytochemistry*, Oxford, v. 21, n. 10, p. 2543-2549, 1982.
- BROWN, A. M. G. *et al.* Effects of extracts of *Tanacetum* species on human polymorphonuclear leucocyte activity in vitro. *Phytotherapy Research*, London, v. 11, s.n., p. 479-484, 1997.
- BROWN, A. M. G. *et al.* Sexual hybrids of *Tanacetum* : biochemical, cytological and pharmacological characterization. *J. Exp. Bot.*, Oxford, v. 50, n.333, p. 435-444, 1999. 139p.
- CARVALHO, L. M. *Disponibilidade de água, irradiância e homeopatia no crescimento e teor de partenólido em Artemisia*. 2001. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- CARVALHO, L. M. *et al.* Efeito de potências decimais da homeopatia de *Arnica montana* sobre plantas de artemisia. *Rev. Bras. Plantas Med.*, Botucatu, v. 6, n. 1, p. 46-50, 2003.
- CHAPIN III, F. S. Integrated responses of plants to stress. *BioScience*, Washington, DC., v. 41, n.1, p. 29-36, 1991.

- CHARTZOULAKIS, K.; DROSOS, N. Water requirements of greenhouse grown pepper under drip irrigation. *Acta Hort.*, Wageningen, v. 1, n.449, p. 175-180, 1997.
- DOLMAN, D. M. *et al.* A quantitative method for the estimation of parthenolide and other sesquiterpene lactones containing α -methylenebutyrolactone functions present in feverfew, *Tanacetum parthenium*. *Phytochem. Anal.*, New York, v.3, s.n., p. 26-31, 1992.
- ENGLISH-LOEB, G. *et al.* Drought stress in tomatoes: changes in plant chemistry and potential nonlinear consequences for insect herbivores. *Oikos*, Copenhagen, v. 79, n. 3, p. 456-468, 1997.
- FIGUEIREDO, L. S. *Germinação e Crescimento de Tanacetum parthenium (L.) Schultz Bip.* 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- GERSHENZON, J. Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. *J. Chem. Ecol.*, New York, v. 20, n. 6, p. 1281-1328, 1994.
- HENDRIKS, H. *et al.* The content of parthenolide and its yield per plant during the growth of *Tanacetum parthenium*. *Planta Medica*, Stuttgart, v. 63, n.4, p. 356-359. 1997.
- HEUER, B. Osmoregulatory role of proline in water and salt stress plants. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). *Handbook of plant and crop stress*. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 17, p.363-381.
- KÉRY, Á. *et al.* Phytochemical standardization and pharmacological studies of *Chrysanthemum parthenium* dried extract. *Acta Hort.*, Wageningen, n. 344, p. 321-322, 1993.
- KUDREV, T. G. *Água: vida das plantas*. São Paulo: Ícone, 1994.
- KUMAR, A.; SINGH, D. P. Use of physiological indices as a screening technique for drought to tolerance in oilseed *Brassica* species. *Ann. Bot.*, London, v. 81, s.n., p. 413-420, 1998.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. *Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 512p.
- MADAN, S. *et al.* Proline and proline metabolising enzymes in in-vitro selected NaCl-tolerant *Brassica juncea* L. under salt stress. *Ann. Bot.*, London, v. 76, p. 51-57, 1995.
- MARUR, C. J. *et al.* Free amino acids in leaves of cotton plants under water deficit. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, Brasília, v. 6, n.2, p. 103-108, 1994.
- MING, L. C. Estudo e pesquisa de plantas medicinais na agronomia. *Hortic. Bras.*, Brasília, v.12, p. 3-9, 1994.
- PEÑUELAS, J.; LLUSIÀ, J. Effects of carbon dioxide, water supply and seasonality on terpene content and emission by *Rosmarinus officinalis*. *J. Chem. Ecol.*, New York, v. 23, n. 4, p. 979-993, 1997.
- SCHUCH, U. K. *et al.* Cultivar, fertilizer, and irrigation affect vegetative growth and susceptibility of *Chrysanthemum* to western flower thrips. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, Alexandria, v. 123, n.4, p. 727-733, 1998.
- SHINOZAKI, K. *et al.* Molecular responses to drought stress in plants: regulation of gene expression and signal transduction. In: SMALLWOOD, M. F. *et al.* (Ed.). *Plant Responses to environmental stress*. Oxford: Bios Scientific Publishers limited, 1999. cap. 17, p.: 133-142.
- SINGH-SANGWAN, N.; FAROOQI, A. H. A.; SINGH-SANGWAN, R. Effect of drought stress on growth and essential oil metabolism in lemongrasses. *New Phytol.*, Cambridge, v.128, s.n., p. 173-179, 1994.
- SOMAL, T. L. C.; YAPA, P. A. J. Accumulation of proline in cowpea under nutrient, drought, and saline stresses. *J. Plant Nutr.*, Moticello, v. 21, n.11, p. 2465-2473, 1998.
- STEPONKUS, P. L. Cold acclimation and freezing injury from a perspective of the plasma membrane. In: KATTERMAN, F. (Ed.). *Environmental injury to plants*. London: Academic Press Inc. 1990. cap. 1, p.1-15.
- WINTER, E. J. *A água, o solo e a planta*. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988.

Received on July 16, 2004.

Accepted on January 31, 2005.