

Boletim de Pesquisa 65

e Desenvolvimento ISSN 1676 - 1340
outubro, 2004

**Implicações da Expressão Sexual e do Sistema
Reprodutivo de Melancia em Programas de Pré-
Melhoramento**



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

José Amauri Dimázio
Presidente

Clayton Campanhola
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Dietrich Gerhard Quast
Sérgio Fausto
Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Clayton Campanhola
Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca
Herbert Cavalcante de Lima
Mariza Marilena T. Luz Barbosa
Diretores-Executivos

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

José Manuel Cabral de Souza Dias
Chefe -Geral

Maurício Antonio Lopes
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Maria Isabel de Oliveira Penteado
Chefe-adjunto de Comunicação e Negócios

Maria do Rosário de Moraes
Chefe-Adjunto de Administração

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 65

Implicações da Expressão Sexual e do Sistema Reprodutivo de Melancia em Programas de Pré-Melhoramento

Maria Aldete J. da Fonseca Ferreira

Manoel Abílio de Queiroz

Roland Vencovsky

Leila Trevisan Braz

Maria Lúcia Carneiro Vieira

Brasília, DF

2004

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

Serviço de Atendimento ao Cidadão

Parque Estação Biológica, Av. W/5 Norte (Final) –

Brasília, DF CEP 70770-900 – Caixa Postal 02372 PABX: (61) 448-4600 Fax: (61) 340-3624

<http://www.cenargen.embrapa.br>

e.mail:sac@cenargen.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Maria Isabel de Oliveira Penteado*

Secretário-Executivo: *Maria da Graça Simões Pires Negrão*

Membros: *Arthur da Silva Mariante*

Maria Alice Bianchi

Maria de Fátima Batista

Maurício Machain Franco

Regina Maria Dechechi Carneiro

Sueli Correa Marques de Mello

Vera Tavares de Campos Carneiro

Supervisor editorial: *Maria da Graça S. P. Negrão*

Normalização Bibliográfica: *Maria Alice Bianchi e Maria Iara Pereira Machado*

Editoração eletrônica: *Maria da Graça S. P. Negrão*

1ª edição

1ª impressão (2004): 150 unidades

I 34 Implicações da expressão sexual e do sistema reprodutivo de melancia em programas de pré-melhoramento / Maria Aldete J. da Fonseca Ferreira ... [et al.]. -- Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2004.

24 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1676-1340; 65)

1. Citrullus lanatus. 2. Melancia. 3. Sistema reprodutivo misto. 4. Pré-melhoramento. 5. RAPD. I. Ferreira, Maria Aldete J. da Fonseca. II. Série.

635.615 – CDD 21

Implicações da Expressão Sexual e do Sistema Reprodutivo de Melancia em Programas de Pré-Melhoramento

Maria Aldete J. da Fonseca Ferreira¹

Manoel Abílio de Queiróz²; Roland Vencovsky³

Leila Trevisan Braz⁴; Maria Lúcia Carneiro Vieira³

¹ Agrônoma, Dra., Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

² Agrônomo, PhD, Depto. Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia

³ Agrônomo, PhD, Depto. Genética-ESALQ-USP

⁴ Agrônoma, Dra., Depto. Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, UNESP

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract	8
Introdução.....	9
Material e Métodos	12
Resultados e Discussão	14
Conclusões	20
Referências Bibliográficas	21

Implicações da Expressão Sexual e do Sistema Reprodutivo de Melancia em Programas de Pré-Melhoramento

Resumo

Este trabalho objetivou: investigar a expressão sexual em sete populações de melancia; avaliar alguns parâmetros populacionais e o potencial genético de uma população (PCS) obtida de cruzamento e segregante para expressão sexual e outros caracteres. A expressão sexual foi investigada, avaliando-se as populações, em condições controladas, quanto ao tipo de flor. Da população PCS obtiveram-se progênies maternas e autofecundadas, que foram avaliadas em campo em relação aos caracteres produção de frutos por planta, peso médio do fruto, número de frutos por planta, cor da polpa e teor de sólidos solúveis. Com base em dados moleculares foi estimada a taxa de fecundação cruzada (t_m e t_s), as freqüências alélicas (p_i) e o coeficiente de endogamia (F) da população PCS. Em relação à expressão sexual os resultados indicaram que: as populações B9 e P14 são andromonóicas, podendo nelas ocorrer autofecundações naturais e formação de frutos normais; as demais populações são monóicas. A população PCS pratica um sistema misto de reprodução ($t_m = 0,765$), tem suficiente variabilidade genética e relativamente pouca depressão endogâmica e, por isso, apresenta alto potencial para o melhoramento. Destaca-se a importância de obter estimativas consistentes da taxa de fecundação cruzada de populações de melancia, pois a expressão sexual e o sistema reprodutivo são condicionados por fatores genéticos.

Palavras chave: *Citrullus lanatus*, melancia, sistema reprodutivo misto, pré-melhoramento, RAPD

Implications of the Sexual Expression and the Watermelon Mating System in Prebreeding Programs

Abstract

This study had the following objectives: to investigate the sexual expression in seven watermelon populations; to evaluate some population parameters and the genetic potential of a population (PCS) obtained by crossing and segregating for sexual expression and other traits. For verifying the sexual expression, populations were evaluated with respect to type of flower, under controlled conditions. Maternal and selfed progenies were obtained from the PCS population for field evaluation, considering: fruit yield per plant, fruit weight, number of fruits per plant, flesh colour and sugar content. On the basis of molecular marker data (RAPD), the outcrossing rate (t_m and t_s), allelic frequencies (p_i) and the coefficient of inbreeding (F) were estimated for the PCS population. Relative to sexual expression, results indicated that populations B9 and P14 are andromonoecious in which natural selfing occurs, giving rise to normal fruits. The remaining populations are monoecious. Population PCS practices a mixed mating system ($t_m = 0,765$) and, having shown sufficient genetic variation and relatively low inbreeding depression, has high potential for breeding purposes. The importance of obtaining accurate estimates of the outcrossing rate is pointed out, specially because sexual expression and the mating system are genetically conditioned in watermelon populations. Index terms: *Citrullus lanatus*, watermelon, mixed mating system, prebreeding, RAPD

Introdução

Considerando a reprodução sexual, as populações são classificadas de acordo com seu sistema reprodutivo em autógamas, alógamas e mistas ou intermediárias. Nas populações autógamas a reprodução ocorre, preferencialmente, por autofecundações naturais, podendo, no entanto, ocorrer até 5% de cruzamentos naturais. Ao contrário das autógamas, as populações alógamas reproduzem-se via cruzamentos naturais e eventualmente por autofecundações naturais. Já as populações mistas ou intermediárias reproduzem-se tanto por autofecundações quanto por cruzamentos naturais, sendo que estas taxas variam de 5% a 95%.

O conhecimento do sistema reprodutivo de uma população é fundamental para a condução adequada de um programa de melhoramento, já que os métodos aplicados para esse fim são diferentes e específicos, em função do sistema de reprodução prevalente na população. Sabe-se que a ocorrência de cruzamentos e de autofecundações, naturais e ao acaso, levam a estruturas genéticas populacionais bem distintas. Além disso, é importante detectar a endogamia que ocorre naturalmente nas populações quando o objetivo consiste em estimar componentes da variância genética. Neste caso, normalmente, assume-se que os indivíduos dentro das famílias de polinização aberta são meios-irmãos. Entretanto, quando ocorre endogamia, o grau de parentesco entre esses indivíduos é maior que o esperado para meios-irmãos, resultando em estimativas distorcidas dos parâmetros genéticos da população. Aliado a isso, a endogamia tem como principal consequência genética o aumento da probabilidade de os indivíduos carregarem alelos semelhantes, ocasionando uma redução da variabilidade genética dentro de famílias e um consequente aumento da variabilidade entre as famílias. Por outro lado, o modo de reprodução das espécies vegetais é influenciado por muitos fatores, entre eles a expressão sexual. De acordo com Robinson et al. (1976) existem relatos de diferentes tipos de expressão sexual em cucurbitáceas, sendo que a mesma é controlada geneticamente, mas também influenciada por condições ambientais como temperatura, umidade, adubação e reguladores de crescimento. Em melancia, por exemplo, estudos sobre a expressão do sexo têm demonstrado a existência de populações monóicas e andromonóicas, sendo que nas primeiras a planta apresenta flores masculinas e femininas, enquanto nas andromonóicas a planta possui flores masculinas e hermafroditas. Estas características são controladas geneticamente por um

simples par de genes, sendo o andromocismo recessivo (*aa*) em relação ao monoicismo (*A_*) (RHODES e ZHANG, 1995).

Considerando as cucurbitáceas de importância econômica, a variabilidade para expressão sexual é maior no pepino, pois existem populações andromonóicas, andróicas (plantas com somente flores masculinas), ginóicas (plantas com apenas flores femininas), hermafroditas, monóicas e trimonóicas (plantas com flores masculinas, femininas e hermafroditas). No caso do melão, a maioria das populações americanas é andromonóica, ao passo que a maioria das populações da Ásia e Índia é monóica, ocorrendo também outras formas de expressão sexual como o androicismo, ginoicismo, ginomoicismo (populações cujas plantas têm mais flores femininas do que perfeitas), hermafroditismo e o trimonocismo. A melancia e a abóbora apresentam menor variabilidade, sendo que nesta última espécie a maioria das cultivares é monóica (ROBINSON et al., 1976). Em bucha (*Luffa acutangula*), as diferentes formas de expressão sexual são semelhantes às do pepino, ao passo que a cabaça (*Lagenaria siceraria*) é considerada estritamente monóica, porém uma variante andromonóica foi encontrada em uma população segregante (SINGH et al., 1996).

Existem outros genes que afetam a estrutura e a fertilidade das flores em cucurbitáceas, como os que controlam a macho-esterilidade em abóbora, melancia, melão e pepino e a partenocarpia em pepino (ROBINSON et al., 1976; MALEPSZY e NIEMIROWICZ-SZCZYTT, 1991; ZHANG et al., 1996; HEXUN et al., 1998;).

Em relação ao sistema reprodutivo, as cucurbitáceas são consideradas alógamas apesar da ampla variabilidade para expressão sexual e considerável influência ambiental na manifestação desta característica. No entanto, Robinson et al. (1976) relatam que os diferentes tipos de expressão sexual influenciam a taxa de cruzamento natural, ocorrendo tanto cruzamentos quanto autofecundações naturais em pepino e melão. Kohn e Biardi (1995) também estimaram uma taxa de autofecundação natural de 73% em plantas monóicas e de 11,9% a 40,7% em plantas ginóicas de duas populações de *Cucurbita foetidissima*, cucurbitácea perene e de ocorrência natural no sudoeste dos Estados Unidos e no nordeste do México, sendo que essas estimativas caracterizam um sistema reprodutivo misto, ou seja, intermediário em relação à autogamia e a alogamia.

Allard (1960) relata, ainda, que em cucurbitáceas as populações apresentam estruturas mais similares às autógamas do que às alógamas, pois durante o processo de

domesticação as populações devem ter sido originadas de poucos indivíduos, em decorrência de suas características botânicas (plantas rastejantes com abundância de ramos que ocupam muito espaço e possuem frutos contendo muitas sementes), o que pode ter favorecido a ocorrência de cruzamentos entre parentes e conseqüentemente de endogamia, resultando em eliminação da carga genética ao longo das gerações.

Em relação à melancia, Mohr (1986) afirma que nas populações andromonóicas as flores hermafroditas são visitadas por insetos, ocorrendo polinização eficiente e, em conseqüência, o andromoicismo não apresenta vantagem em relação ao monoicismo quanto à manutenção de linhagens puras. Assim, o autor considera a melancia como uma espécie alógama.

Todavia, devido à possibilidade de ocorrer tanto autofecundação das flores hermafroditas quanto cruzamento via pólen oriundo de outra planta de melancia, acredita-se que as populações andromonóicas podem apresentar um sistema misto de reprodução ou, a depender da taxa de autofecundação, serem mais próximas das autógamias. Evidentemente, porém com menor probabilidade, é possível também ocorrer autofecundação natural em populações monóicas por meio da fertilização de flores femininas com pólen de flores masculinas da mesma planta, podendo ser que estas populações sejam mistas, porém mais próximas da alogamia. Em populações segregantes para expressão sexual, em função da freqüência de plantas monóicas e andromonóicas, o sistema reprodutivo deve variar entre predominantemente alógamo até predominantemente autógamo.

As populações andromonóicas de melancia provavelmente evoluíram das monóicas, pois o alelo recessivo que determina o andromonoicismo (a), certamente, mantinha-se em indivíduos monóicos heterozigóticos (Aa). Ao averiguar a dinâmica evolutiva da melancia no Nordeste brasileiro, Centro de Diversidade Genética desta espécie, Romão (1995) constatou a existência de bancos naturais de sementes, formados em virtude da ação conjunta de fatores genéticos (genes que condicionam dormência de sementes e explosão dos frutos), ecológicos (dispersão de sementes pelo lobo guará) e cultural (sementes deixadas no solo devido ao consumo de frutos no campo). A existência desses bancos de sementes, em conjunção com a persistência de populações em condições adversas e com a prática de diferentes sistemas de cultivo nessa região, contribuíram para o surgimento de populações subespontâneas formadas por poucos indivíduos.

Naturalmente, a ocorrência de acasalamentos entre parentes deve ter sido alta nessas populações, promovendo, com o decorrer das gerações, a fixação de alelos, como por exemplo, daquele que condiciona o andromonoicismo.

Diante do exposto, mesmo em condições de campo e na presença de insetos polinizadores, acredita-se que é possível ocorrer autofecundações naturais em populações andromonóicas e monóicas de melancia e, dependendo das taxas de autofecundações naturais, essas populações podem apresentar um sistema reprodutivo misto.

Dessa forma, neste trabalho os principais objetivos foram: (a) avaliar a expressão sexual em algumas populações de melancia, averiguando a ocorrência ou não de autofecundações naturais; (b) estimar a taxa de cruzamento natural em uma população segregante para expressão sexual; (c) discutir as implicações do sistema reprodutivo sobre o melhoramento genético e estimar parâmetros quantitativos.

Material e Métodos

Para avaliação da expressão sexual, as populações tradicionais B9, B13, P14 e M7 coletadas no Nordeste do Brasil, respectivamente na Bahia, em Pernambuco e no Maranhão (QUEIRÓZ, 1993, 1998), assim como as variedades comerciais americanas Crimson Sweet, Charleston Gray e New Hampshire Midget, foram avaliadas em casa-de-vegetação devidamente protegida de insetos polinizadores. O experimento foi instalado de acordo com o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e oito plantas por parcela. Por ocasião do florescimento, além de observar a ocorrência de flores masculinas, foram feitas também 100 observações aleatórias por população, contando-se o número de flores femininas e hermafroditas. Foi observada, ainda, a ocorrência ou não de autofecundações naturais das flores hermafroditas, bem como a formação ou não de frutos.

Para investigação do sistema reprodutivo foi estudada uma população base sintetizada com a finalidade de combinar as características da população P14 (alta prolificidade, frutos de menor peso e resistência ao oídio) e da variedade comercial Crimson Sweet (alto teor de sólidos solúveis e polpa de cor vermelha intensa). Além dessas características, as populações P14 e Crimson Sweet caracterizam-se por serem,

respectivamente, andromonóicas e monóicas, como foi possível observar com as avaliações realizadas anteriormente, em casa-de-vegetação. Inicialmente foram efetuados intercruzamentos manuais envolvendo 100 indivíduos de cada população, obtendo-se 100 frutos F_1 . Depois foi formada uma população de 1.000 indivíduos constituída por uma mistura de 10 sementes de cada fruto F_1 , que se reproduziu naturalmente em um campo isolado. De cada planta desta população foi amostrado aleatoriamente um fruto, do qual retiraram-se duas sementes, formando-se uma mistura de 2.000 sementes, que consistiu a população base, denominada PCS.

A população PCS foi instalada em um campo isolado e por ocasião do florescimento as plantas foram avaliadas para expressão sexual. Também foram amostradas aleatoriamente 64 plantas (denominadas plantas mães), sendo que de cada uma foi obtida uma progênie de polinização livre ou materna (PL) e outra progênie autofecundada ou S_1 (AF). Aqui o termo família será empregado para designar o conjunto de filhas (PL e AF) de uma determinada planta mãe e o termo progênie para indicar filhas de um só tipo (PL ou AF). Das 64 progênies maternas, foram amostradas ao acaso 12 para a realização da análise molecular a fim de estimar a taxa de fecundação cruzada natural. Assim, os dados moleculares foram obtidos mediante a fenotipagem das 12 progênies maternas, compostas cada uma por 23 indivíduos e suas respectivas plantas mães, utilizando-se a técnica de RAPD. Foram empregados os *primers* B02, B14, C04 e C16, os quais forneceram 16 locos polimórficos, sendo que destes apenas nove apresentaram aderência ao modelo e foram utilizados para estimar os parâmetros populacionais.

A taxa de fecundação cruzada natural foi estimada por máxima verossimilhança, considerando-se o modelo de sistema misto de reprodução (*Mixed Mating Model*), por meio do *software* MLDT (*Multilocus Estimation of Outcrossing with Dominant Markers*) (RITLAND, 1990). Estimou-se a taxa de fecundação cruzada baseada em vários locos (t_m *multilocus*), que equívale a uma estimativa envolvendo todos os locos simultaneamente; a taxa de fecundação cruzada baseada em locos individuais (t_s *single locus*), que corresponde a uma média das estimativas de cada loco separadamente; as frequências alélicas (p_i) e o coeficiente de endogamia de Wright (F) da população.

As famílias maternas e autofecundadas foram avaliados no campo em dois experimentos implantados de acordo com o delineamento em faixas com três repetições. Foram avaliados os caracteres: (a) Produção de frutos por planta (PP) (kg/planta); (b) Peso

médio do fruto (PF) (kg); (c) Número de frutos por planta (NF); (d) Cor da polpa (CP), atribuindo-se nota 1 para cor vermelha intensa, 2 para vermelha, 3 para vermelha clara, 4 para rósea e 5 para cor branca e; (e) Teor de sólidos solúveis (TS) (°Brix). Essa avaliação foi realizada com a finalidade de aquilatar o potencial genético da população PCS que é, conforme exposto, proveniente do cruzamento entre genitores contrastantes em relação à expressão sexual e outros caracteres de interesse econômico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à investigação da expressão sexual, foi observado que as primeiras flores em todas as populações avaliadas foram masculinas surgindo, em seguida, as flores femininas e hermafroditas. As porcentagens dadas a seguir referem-se ao conjunto destas últimas, isto é, excluindo-se as flores masculinas. Somente as populações B9 e P14 apresentaram 100% de flores hermafroditas, indicando tratar-se de populações andromonóicas. Nas populações Crimson Sweet e New Hampshire Midget, as porcentagens de flores femininas foram, respectivamente, de 92% e 97%, evidenciando que estas populações são predominantemente monóicas. As populações Charleston Gray, B13 e M7 apresentaram 100% de flores femininas, tratando-se, portanto, de populações tipicamente monóicas. Foi verificada, ainda, a ocorrência de autofecundações naturais em todas as flores hermafroditas das populações B9 e P14, com formação de frutos normais, o que assegura a viabilidade do pólen das flores hermafroditas.

Na população segregante PCS, 53,5% das plantas apresentaram flores femininas, ou seja eram monóicas e 46,5% eram andromonóicas. Na Tabela 1 constam as estimativas das freqüências dos alelos dominantes, das taxas de fecundação cruzada baseadas em todos os locos simultaneamente e com base na média das estimativas de cada loco separadamente, bem como dos coeficientes de endogamia da população PCS. Foram obtidos três conjuntos de estimativas desses parâmetros. Primeiro considerando todas as famílias conjuntamente e depois envolvendo somente as famílias cujas mães eram andromonóicas ou monóicas.

As estimativas das taxas de fecundação cruzada obtidas considerando todas as famílias conjuntamente, variaram de 73,2% a 76,5%, indicando que a população PCS apresenta sistema misto de reprodução. Foi observado também que as taxas de fecundação cruzada tenderam a ser maiores nas famílias monóicas do que nas andromonóicas,

estando estes resultados em conformidade com o previsto, uma vez que em condições isoladas de casa-de-vegetação foi constatada a ocorrência natural de autofecundações em plantas andromonóicas da população P14. Dessa forma, é esperado ainda que a endogamia nestes indivíduos seja maior do que em indivíduos monóicos, o que é confirmado pelas estimativas das taxas de endogamia. Vale salientar que a utilização de marcadores dominantes é perfeitamente factível para estimar a taxa de fecundação cruzada. Por exemplo, Gaiotto et al. (1997) ao utilizarem dados moleculares obtidos pela técnica de RAPD e AFLP para estimar esses mesmos parâmetros, obtiveram valores similares aos estimados com marcadores codominantes.

A estimativa da taxa de endogamia ($\hat{F} = 0,091$), evidencia também o sistema misto de reprodução nessa população. O coeficiente de endogamia, caso essa população tivesse atingido o equilíbrio de endogamia, seria de $\hat{F} = (1 - \hat{i}) / (1 + \hat{i}) = 0,133$. O valor obtido foi ligeiramente inferior a esse último, o que é indicativo de um excesso de heterozigotos na população segregante investigada, em relação ao esperado no ponto de equilíbrio, num sistema misto de reprodução. Essa argumentação fica reforçada se for lembrado que o híbrido intervarietal, de onde proveio a população segregante, deveria ter sido altamente heterozigótico, já que as variedades parentais são geneticamente muito contrastantes. Outro fator que pode estar contribuindo para esse excesso relativo de heterozigotos é uma possível seleção contra os homozigotos, em consequência de depressão endogâmica manifestada já no estágio de plântula. Realmente, se for considerado o fato de que as plantas avaliadas foram propagadas em bandejas, para formação das mudas, a ocorrência de seleção não intencional pode tornar-se forte. Aliás, foi observada variação na germinação das sementes, algumas germinando mais tardiamente do que outras, condicionando a existência de plântulas menos e mais vigorosas.

Deve-se salientar que a população segregante investigada ainda não atingiu o equilíbrio com endogamia, situação que, em verdade, só é alcançada assintoticamente, sob polinização livre. Sua homozigose atual deve estar aquém do valor sob equilíbrio e por isso $\hat{F} = 0,091 < 0,133$, conforme já apontado. Vale pois investigar que fração desse acréscimo (x) de homozigose deve ter sido alcançada, no contexto do procedimento proposto por Pereira et al. (1986), citados por Ferreira (2000). Considerando a situação mais extrema de diversidade entre as variedades parentais (P14 = A_1A_1 e CS = A_2A_2 num loco A qualquer), as genitoras F_2 das progênes aqui estudadas devem estar

nas proporções 1/4, 2/4, 1/4 para os genótipos A_1A_1 , A_1A_2 e A_2A_2 , respectivamente. Isso é válido para qualquer valor de s , no caso considerado. Admitindo o modelo de Wright para explicar as frequências genóticas tem-se, para os genótipos A_1A_1 , A_1A_2 e A_2A_2 , os valores $p^2 + pqF$, $2pq(1 - F)$ e $q^2 + pqF$, respectivamente. No equilíbrio, com $p = q = 0,5$, como admitido, esperam-se as frequências 0,2832; 0,4335 e 0,2832, para esses genótipos, admitindo-se $\hat{s} = 1 - \hat{t}_m = 0,235$, como estimativa válida para a população nas gerações futuras. Na população investigada, no entanto, com $\hat{F} = 0,091$ essas frequências devem ser de 0,2728; 0,4545 e 0,2728 para os genótipos A_1A_1 , A_1A_2 e A_2A_2 , respectivamente. Utilizando a fração x proposta por Pereira et al. (1986), citados por Ferreira (2000) que se expressa por $x = (H_1 - H_N)/(H_1 - H_\infty)$ sendo H medidas de homozigose, tem-se, para o caso considerado, $H_1 = 0,50$, $H_N = 0,2728 + 0,2728 = 0,5456$ e $H_\infty = 0,2832 + 0,2832 = 0,5664$, de modo que $x = 0,687$, significando que, com uma única geração de polinização livre ocorrida para gerar a população segregante, já foram atingidos 68,7% do acréscimo total da homozigose até o equilíbrio.

É interessante averiguar ainda, o número de gerações (N) adicional necessário para que a população PCS atinja ao menos 90% (x) da homozigose esperada no ponto de equilíbrio com endogamia. Ora, como $\hat{s} = 0,235$ e $N = \log [(1 - x)\hat{s}/2] / \log (\hat{s}/2)$ (PEREIRA et al., 1986 citados por FERREIRA, 2000), verifica-se que, pelo menos uma geração adicional de polinização livre seria suficiente para que a referida população atingisse 90% da homozigose esperada sob equilíbrio. Isso seria mais adequado para os estudos de genética quantitativa além de aumentar a probabilidade do surgimento de indivíduos transgressivos desejáveis comercialmente, pois ocorreria também uma geração a mais de recombinação. Considerando que as progênies de polinização livre, obtidas a partir dessa população segregante, já atingiram 90% da homozigose esperada no equilíbrio, pois foram geradas após duas gerações de polinização livre, seria indicado compor um *bulk* de sementes dessas progênies e gerar uma nova população base e, a partir desta, obter novas famílias.

Resumindo, foi verificado que a população PCS de melancia apresenta sistema misto de reprodução, sendo que a taxa de fecundação cruzada mostrou tendência de variar entre as famílias andromonóicas e monóicas; que apresenta excesso de heterozigotos em relação ao esperado no equilíbrio com endogamia; que apesar de não ter atingido o equilíbrio completo apresenta-se razoavelmente próximo deste, uma vez que 68,7% do

acrécimo possível de homozigose foram atingidos. Além disso, pode-se inferir que, mesmo apresentando sistema misto de reprodução, essa população está, geneticamente, mais próxima de populações alógamas do que de autógamas.

Como será visto posteriormente, tais constatações conduzem a algumas dificuldades, mas também em algumas vantagens em termos da condução de programas de pré-melhoramento, multiplicação de acessos de germoplasma e cultivares, assim como na estimação de componentes da variância genética.

Por outro lado, pelas avaliações das progênies maternas e autofecundadas, verificou-se que essa população apresentou variabilidade genética para todos os caracteres avaliados, uma vez que o efeito de famílias acusou significância (efeito P). Portanto, essa população tem grande potencial para ser explorado em programas de pré-melhoramento. O contraste entre as médias das progênies PL e progênies AF, avaliado pelo efeito de tipos de progênies (efeito T), assim como os efeitos devidos às interações entre famílias e tipos de progênies, foram significativos para os caracteres PF, CP e TS, indicando que as médias desses tipos de progênies diferiram entre si e demonstrando a ocorrência de depressão endogâmica, que não ocorreu com a mesma intensidade nas progênies analisadas (efeito P x T) (Tabela 2).

Para todos os caracteres foram detectados efeitos significativos tanto entre progênies PL quanto entre progênies AF, demonstrando, mais uma vez, a existência de diferenças dentro de cada tipo, que são indicativas de variabilidade genética potencial. Principalmente para os caracteres relacionados com a produção de frutos, foi observada considerável amplitude de variação tanto entre as médias das progênies PL como entre as AF. Em relação às variáveis PP, PF e NF essas amplitudes foram de 24,5 kg/planta; 3,4 kg/fruto e 15,3 frutos/planta nas progênies PL e de 30,8 kg/planta; 4,6 kg/fruto e 12,4 frutos/planta, nas AF, respectivamente. Entretanto, nestes caracteres os coeficientes de variação foram altos, implicando em baixa precisão experimental, o que pode comprometer os resultados. Todavia, altos valores de coeficientes de variação para essas caracteres são, até certo ponto, esperados, uma vez que são muito mais influenciados pelo ambiente do que os demais (Tabela 2). Por outro lado, para uma melhor averiguação do efeito real da depressão endogâmica na melancia, há necessidade de estudos adicionais que levem em conta diferentes graus de endogamia, assim como melhor controle ambiental.

Nas populações mistas, o grau de parentesco existente entre os indivíduos de famílias maternas é maior do que o esperado sob alogamia, implicando que estimativas incorretas de parâmetros genéticos podem ser obtidas se a taxa F for considerada nula. A variância genética (σ_G^2) dessas populações envolve outros componentes além da variância aditiva (σ_A^2) e de dominância (σ_D^2), sendo que: $\sigma_G^2 = (1+F)\sigma_A^2 + (1-F)\sigma_D^2 + 4FD_1 + FD_2^* + F(1-F)H^* + (F_c - F^2)(H^2 - H^*)$. O componente D_1 corresponde à covariância entre efeitos aditivos e de dominância nos homozigotos; D_2^* à variância dos efeitos de dominância dos homozigotos; H^* e H^2 são componentes da depressão endogâmica e F_c o coeficiente de endogamia conjunto para dois locos. Destes componentes, D_1 exige maior atenção, já que por ser uma covariância, pode ser negativo e nesse caso contribuir para reduzir o progresso genético (COCKERHAM e WEIR, 1984). Em decorrência de levarem mais do que uma geração de polinização ao acaso para atingirem o equilíbrio, estas populações apresentam três tipos de progresso genético: (1) Progresso imediato (P_{GI}), que equivale ao progresso na geração imediatamente após a seleção; (2) Progresso permanente (P_{GP}), que é o progresso atingido quando a população selecionada retorna ao equilíbrio e (3) Progresso transiente (P_{GT}), que vem a ser o progresso genético manifestado após o P_{GI} , ao longo das gerações, até a população atingir o equilíbrio. O progresso P_{GI} depende de todos os componentes da variância genética, ao passo que P_{GP} é dependente apenas dos componentes σ_A^2 , D_1 e D_2^* , devido os efeitos de dominância e da depressão endogâmica serem eliminados ao longo das gerações (WRIGHT e COCKERHAM, 1985).

Torna-se essencial, portanto, a determinação consistente da taxa de fecundação cruzada das populações que se pretende explorar, pois isso proporciona um melhor conhecimento da estrutura genética dessas populações, além de possibilitar estudos quantitativos. O emprego de marcadores bioquímicos e moleculares constitui uma ferramenta preponderante em virtude de possibilitar a quantificação de alguns parâmetros genéticos populacionais, como por exemplo da taxa de cruzamento natural e do coeficiente de endogamia.

A importância da quantificação desses parâmetros em populações de melancia é mais acentuada, devido ao fato de a expressão sexual e conseqüentemente do sistema reprodutivo serem condicionados por fatores genéticos e também influenciados por

fatores ambientais. É necessário frisar que a população PCS é segregante para a expressão sexual. Talvez populações estritamente andromonóicas apresentem maior taxa de autofecundação natural e, por conseguinte, possam ser mais próximas das autógamas do que das alógamas, assim como as populações monóicas podem apresentar maior taxa de fecundação cruzada e serem mais próximas das alógamas.

Dois pontos cruciais também devem ser considerados. O primeiro, refere-se à precaução contra contaminação genética durante a execução de processos seletivos e de multiplicação de acessos e cultivares, devendo-se isolar criteriosamente as estruturas florais e efetuar emascações nas flores hermafroditas. O segundo, consiste em se tentar evitar a ocorrência de seleção não intencional durante a produção de mudas, havendo a necessidade de estudos sobre a quebra de dormência das sementes para contornar esse problema.

Por outro lado, o fato de a população PCS estar mais próxima das alógamas, reverte na vantagem de ser possível empregar métodos de seleção recorrente no melhoramento dessa população. A seleção recorrente, além de aumentar a frequência de alelos desejáveis, promove a recombinação e conseqüentemente a dissociação indesejável entre caracteres de importância econômica.

Outra grande vantagem para o melhoramento de espécies que possuem sistema misto de reprodução, consiste no fato de a ocorrência natural tanto de cruzamentos quanto de autofecundações, proporcionar, naturalmente, a recombinação e a eliminação de carga genética, o que possibilita a seleção de indivíduos segregantes para caracteres de interesse que apresentem pouca ou nenhuma depressão endogâmica, como constatado por Ferreira (2000). Nas espécies alógamas ocorre recombinação natural, porém a depressão endogâmica observada é muito elevada. Já nas espécies autógamas, não ocorre depressão em decorrência da endogamia, mas, por outro lado, só é possível recombinar através de polinizações artificiais.

De acordo com os resultados obtidos e mediante as considerações expostas, pode-se indicar o emprego da população PCS em programas de seleção recorrente recíproca, utilizando-se a metodologia dos híbridos crípticos (PATERNIANI e MIRANDA FILHO, 1978), em conjunção com outra ou outras populações, com a finalidade de obter linhagens superiores para a síntese de híbridos. As progênies AF também apresentam

grande potencial em originar linhagens produtivas, prolíficas e com boas características de fruto.

Conclusões

De acordo com os resultados desse trabalho, conclui-se que:

1. As populações tradicionais B9 e P14 são andromonóicas, enquanto que as variedades comerciais americanas Crimson Sweet, Charleston Gray e New Hampshire Midget assim como as populações tradicionais B13 e M7, são monóicas;
2. Ocorre a autofecundação natural bem como a formação de frutos normais nas populações B9 e P14 andromonóicas;
3. A população base PCS pratica um sistema misto de reprodução com diferentes taxas de autofecundação entre as famílias monóicas e andromonóicas;
4. A população base PCS não atingiu o equilíbrio completo, porém apresenta-se próximo deste, pois 68,7% do acréscimo possível de homozigose foram atingidos;
5. Apesar de não ter atingido suficiente grau de aproximação ao equilíbrio, a população PCS apresentou, para todos os caracteres investigados, suficiente variação genética, tendo alto potencial para um programa de pré-melhoramento, assim como para originar linhagens endogâmicas com boas características de planta e de frutos;
6. É importante a determinação consistente da taxa de fecundação cruzada das populações de melancia que se pretende explorar em programas de melhoramento, uma vez que a expressão sexual e conseqüentemente o sistema reprodutivo são condicionados por fatores genéticos.

Referências Bibliográficas

- ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. New York: John Willey, 1960. 485 p.
- COCKERHAM, C. C.; WEIR, B. S. Covariances of relatives stemming from a population undergoing mixed self and random mating. **Biometrics**, Washington-DC, v. 40, p. 157-164, 1984.
- FERREIRA, M. A. J. da F. **Sistema reprodutivo e potencial para o melhoramento genético de uma população de melancia *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai**. 2000. 148 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GAIOTTO, F. A.; BRAMUCCI, M.; GRATTAPAGLIA, D. Estimation of outcrossing rate in breeding population of *Eucalyptus urophylla* with dominant RAPD and AFLP markers. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 95, p. 842-849, 1997.
- HEXUN, H.; XIAOQI, Z.; ZHENCHENG, W.; QINGHUI, L.; XI, L. Inheritance of male-sterility and dwarfism in watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai]. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 74, p. 175-181, 1998.
- KOHN, J. R.; BIARDI, J. E. Outcrossing rates and inferred levels of inbreeding depression in gynodioecious *Cucurbita foetidissima* (Cucurbitaceae). **Heredity**, Edinburgh, v. 75, p. 77-83, 1995.
- MALEPSZY, S.; NIEMIROWICZ-SZCZYTT, F. Sex determination in cucumber (*Cucumis sativus*) as a model system for molecular biology. **Plant Science**, v. 60, p. 39-47, 1991.
- MOHR, H. C. Watermelon breeding. In: BASSET, M. I. (Ed.). **Breeding in vegetables crops**. Westport: AVI, 1986. p. 33-66.
- PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E. (Coord.). **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Piracicaba: ESALQ, 1978. p. 202-256.
- QUEIRÓZ, M. A. de. Cucurbitáceas no semi-árido do Nordeste brasileiro: resgate, conservação e uso. In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ., USP, 1998. p. 1-12.
- QUEIRÓZ, M. A. de. Potencial de germoplasma de cucurbitáceas no nordeste brasileiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 7-9, 1993.
- RHODES, B.; ZHANG, X. Gene list for watermelon (*Citrullus lanatus*). **Report Cucurbit Genetics Cooperative**, Madison, n. 18, p. 68-84, 1995.
- RITLAND, K. A series of FORTRAN computer programs for estimating plant mating systems. **Journal of Heredity**, Washington-DC, v. 81, p. 235-237, 1990.

ROBINSON, R. W.; MUNGER, H. M.; WHITAKER, T. W.; BOHN, G. W. Genes of cucurbitaceae. **HortScience**, Alexandria-VA, v. 11, n. 6, p. 554-568, 1976.

ROMÃO, R. L. **Dinâmica evolutiva e variabilidade de populações de melancia *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai. em três regiões do nordeste brasileiro.** 1995. 75 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SINGH, S. P.; MAURYA, I. B.; SINGH, N. K. Occurrence of andromonoecious form in bottle gourd, *Lagenaria siceraria* exhibiting monogenic recessive inheritance. **Current Science**, v. 70, n.6, p. 458-459, 1996.

WRIGHT, A. J.; COCKERHAM, C. C. Selection with partial selfing. I. Mass Selection. **Genetics**, Maryland-TX, v. 109, p. 585-597, 1985.

ZHANG, X. P.; RHODES, B. B.; BAIRD, W. V.; BRIDGES, W. C.; SKORUPSKA, H. T. Development of genic male-sterile watermelon lines with juvenile albino seedling marker. **HortScience**, Alexandria-VA, v. 31, n. 3, p. 426-429, 1996.

Tabela 1. Estimativas das freqüências alélicas do marcador dominante (p_i); teste de aderência (χ^2) ao modelo de sistema misto de reprodução; estimativas da taxa de fecundação cruzada baseada em todos os locos simultaneamente (t_m) e com base na média das estimativas de cada loco separadamente (t_s) e coeficiente de endogamia (F).

Locos RAPD	Freqüência alélica (p_i)	χ^2	P
C16 1050	0,700 (0,052)	0,32	0,5716
C16 500	0,779 (0,038)	0,95	0,3297
B14 2600	0,507 (0,064)	2,17	0,1407
B14 2200	0,060 (0,014)	0,15	0,6985
B14 1400	0,508 (0,097)	0,53	0,4666
B14 1000	0,841 (0,038)	0,20	0,6547
B14 900	0,383 (0,076)	1,98	0,1594
B14 700	0,524 (0,046)	2,15	0,1426
C04 950	0,634 (0,068)	0,01	0,9203
Todas as famílias conjuntamente			
	t_m	0,765 (0,056)	
	t_s	0,732 (0,059)	
	F	0,091 (0,079)	
Famílias andromonóicas			
	t_m	0,646 (0,248)	
	t_s	0,655 (0,181)	
	F	0,414 (0,206)	
Famílias monóicas			
	t_m	0,815 (0,099)	
	t_s	0,806 (0,106)	
	F	0,075 (0,250)	

P = nível de significância dos valores de χ^2

Tabela 2. Resumo da análise de variância agrupada dos caracteres produção de frutos por planta (PP), peso médio do fruto (PF), número de frutos por planta (NF), cor da polpa (CP) e teor de sólidos solúveis (TS), com respectivas médias gerais e amplitude de variação.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios				
		PP	PF	NF	CP	TS
Experimentos	1	1163,8108	9,0279	3,9144	16,5399	0,0709
Repetições/Exp.	4	213,9665	1,6229	91,1616	0,1559	2,5850
Famílias (P)/Exp.	62	68,7637 **	4,3247 **	33,0839 **	2,6574 **	3,9910 **
Resíduo a/Exp.	124	62,5580	0,5381	10,4325	0,2109	0,3137
Tipos de Progênes (T)/Exp.	2	46,0351 ns	5,2116 **	58,0410 ns	2,4236 **	3,9652 **
Resíduo b/Exp.	4	25,1535	0,2218	0,2861	0,0973	0,1520
Interação P x T	62	35,7665 ns	0,8288 **	10,0883 ns	0,6685 **	1,1106 **
Resíduo c/Exp.	124	30,8680	0,4380	11,6879	0,2134	0,2985
Desdobramento do efeito de famílias mais da interação P x T						
Progênes/PL	63	59,7621 **	1,8789 **	23,5317 **	1,5097 **	1,8821 **
Progênes/AF	63	61,6817 **	3,3466 **	19,1155 **	2,0436 **	3,1688 **
Resíduo d/Exp	248	46,7130	0,4881	11,0602	0,2122	0,3061
Coeficientes de Variação						
C.V. (a) %		47,33	22,16	43,91	13,71	7,57
C.V. (b) %		30,01	14,23	7,27	9,31	5,27
C.V. (c) %		33,25	19,99	46,48	13,79	7,38
C.V. (d) %		40,90	21,12	45,22	13,75	7,48
Médias						
Progênes PL		17,18	3,15	7,89	3,45	7,27
Progênes AF		16,24	3,47	6,82	3,25	7,53
Amplitude de Variação						
Progênes PL						
Menor Valor		7,31	1,61	3,67	2,20	5,56
Maior Valor		31,79	5,00	19,00	4,82	8,85
Progênes AF						
Menor Valor		7,19	1,57	2,50	1,58	5,42
Maior Valor		38,00	6,22	14,95	5,00	10,07

Significativo ao nível de 1% de probabilidade (**) e não significativo ao nível de 5% de probabilidade (ns), pelo teste F.

PL = progênie de polinização livre ou materna; AF = progênie autofecundada.