*Este texto baseia-se numa revisão de literatura académica da autoria de Pavlo Ardanov integrada no nosso projeto de colaboração com o Observatório GROW.*

*O Observatório GROW recebeu financiamento do programa de investigação e inovação Horizonte 2020 da União Europeia no âmbito do contrato de subvenção n.º 690199.*

**Revisão de literatura sobre a forma de aumentar o número de polinizadores**

*Dr. Pavlo Ardanov, maio de 2019*

# Resumo

O valor global anual da polinização de culturas mediada por animais está estimado em 153 mil milhões de dólares, embora haja um défice de polinização em muitas áreas da agricultura. Uma procura de literatura na página ScienceDirect utilizando a palavra-chave “pollinator” (polinizador) obteve mais de 30.900 resultados. Os primeiros 1000 resultados (ordenados por relevância) foram analisados, incluindo artigos de revisão e artigos de investigação focados na Europa e no clima temperado. As principais práticas de gestão de polinizadores também são revistas neste artigo.

**Principais conclusões:** A diversificação da paisagem aumenta a disponibilidade e o acesso a recursos de forragem e locais de nidificação para polinizadores, facilita a sua migração e aumenta a redundância em grande escala das atividades de polinização. A criação de habitats de pousio adicionais e variados com flores anuais e perenes estimulará os polinizadores ao proporcionar-lhes recursos de pólen e néctar ao longo do período ativo de forragem e durante os períodos de recursos limitados (plantas “de transição”). A inclusão de plantas de flor prolíficas em faixas de flores semeadas e a plantação em áreas de flores silvestres pode oferecer proteção em períodos de escassez de recursos e fornecer um abastecimento constante se for designada uma sequência de floração. Permitir a regeneração natural de flores silvestres nas margens dos campos pode melhorar a polinização das culturas e o controlo biológico de pragas e infestantes. A recuperação de habitats que fornecem recursos de forragem e nidificação e facilitam o movimento de polinizadores tem o potencial de melhorar as atividades de polinização nas paisagens.

# Introdução

Os polinizadores são importantes para a viabilidade genética e reprodução de mais de 65% das flores silvestres a nível mundial (90% de plantas com flores) ou 30.000 espécies de plantas (Kearns, Inouye & Waser 1998, Ashman et al. 2004, Buchmann, Nabhan 2012). O valor global anual da polinização de culturas mediada por animais está estimado em 153 mil milhões de dólares (Gallai et al. 2009).

Há cada vez mais dados que provam que várias espécies e grupos de polinizadores e de plantas por eles polinizadas são afetadas negativamente pelas alterações ambientais em várias regiões do mundo (Wratten et al. 2012, Senapathi et al. 2015) e que os défices de polinização se agravam ainda mais em paisagens agrícolas (Garibaldi et al. 2017). Um aumento de 10% da área de habitat natural e seminatural poderia originar um aumento de cerca de 37% na abundância de abelhas selvagens e na riqueza das espécies (Kennedy et al. 2013).

As espécies de polinizadores diferem quanto aos requisitos de forragem e nidificação. Por conseguinte, as paisagens atrativas para os polinizadores deveriam proporcionar vastos recursos de forragem e nidificação para larvas e adultos polinizadores selvagens ao longo do ano (Pufal, Steffan-Dewenter & Klein 2017). Em geral, a gestão das atividades de polinização deve ser orientada para apoiar um conjunto diversificado de polinizadores de forma manter a diversidade das características funcionais ou taxonómicas, que servem para proporcionar um conjunto diversificado de atividades polinizadoras, mesmo perante a perda de espécies (Gill et al. 2016, Menz et al. 2011).

As principais técnicas de gestão de habitat com efeitos positivos nos polinizadores selvagens incluem: proteção e recuperação de habitats de polinizadores; aumento da qualidade e quantidade dos recursos florais; redução das práticas mecânicas intensivas; redução da utilização de químicos e disponibilização de locais para nidificação (Wratten et al. 2012, revisto em Garibaldi et al. 2017). A preservação de polinizadores pode constituir um enquadramento útil para alcançar múltiplos objetivos, nomeadamente o reforço do controlo natural de pragas, melhoria da estrutura e fertilidade do solo, apoio à biodiversidade, limitação da erosão do solo e lixiviação de nutrientes, e melhoria da estética paisagística (Wratten et al. 2012).

***Descrição do método***

*A gestão holística das atividades de polinização deve incluir os seguintes passos principais (Gill et al. 2016, Menz et al. 2011, Jha, Burkle & Kremen 2013):*

1. *Em cada cultura em floração e cada variedade principal cultivada numa determinada paisagem, identificar se a polinização é necessária e quais seriam os polinizadores para executar essa atividade.*
2. *Identificar os principais polinizadores para as culturas cultivadas. Considerar as respetivas preferências de nidificação e necessidades de recursos florais durante os seus períodos de forragem.*
3. *Avaliar a paisagem na qual as culturas são produzidas em termos de alternativas florais e recursos de nidificação durante o período de atividade dos polinizadores e identificar potenciais lacunas nos recursos.*
4. *Plantar plantas “de estrutura”, que fornecem néctar e pólen em quantidade considerável, e plantas “de transição”, que fornecem recursos durante os períodos de poucos recursos. Utilizar espécies de plantas que não incentivem as pragas ou doenças das plantas e dar prioridade a espécies nativas não infestantes. Realizar, em primeiro lugar, testes em pequena escala para comparar diferentes métodos de estabelecimento e medir a utilização pelos polinizadores e qual a melhoria nas culturas adjacentes.*
5. *Avaliar as implicações económicas da retirada de terras de produção para proporcionar atividades de polinização, em comparação com o aumento do valor da cultura.*

As principais práticas de gestão de polinizadores são revistas a seguir de forma mais aprofundada, incluindo as suas especificidades, considerações adicionais para implementação e uma descrição de “como fazer”.

# Diversificação da paisagem

A otimização da conetividade e heterogeneidade do habitat pode aumentar a disponibilidade e o acesso a recursos de forragem e locais de nidificação para polinizadores, facilitar a sua migração e aumentar a redundância em grande escala das atividades de polinização (Pufal, Steffan-Dewenter & Klein 2017, Samnegård, Persson & Smith 2011).

O período de floração de espécies de um só tipo de planta é normalmente curto em comparação com o período de atividade dos polinizadores (Blüthgen, Klein 2011). As culturas diferem no nível de polinização e nas comunidades de insetos polinizadores necessárias (Albrecht et al. 2012, Fründ et al. 2013) e as espécies de polinizadores também podem diferir quanto aos seus requisitos de recursos ao longo do ano (Olesen et al. 2008). As atividades de polinização serão menos propensas a impactos catastróficos que afetam os habitats propícios a polinizadores únicos, se estiverem disponíveis outros habitats não afetados nas proximidades. Por isso, as medidas destinadas a apoiar os polinizadores devem considerar as complexas interações espaciais e temporais entre os diferentes polinizadores e elementos do habitat (Pufal, Steffan-Dewenter & Klein 2017).

## Especificidades a ter em consideração à escala da paisagem:

* Diferentes tipos de habitats: campos cultivados, jardins, ilhotas no meio do campo, margens de campos não cultivados e melhorados floristicamente, topografia, faixas de proteção ripícolas, bermas, parques, habitats naturais, etc. (Lindgren, Lindborg & Cousins 2018).
* Distância efetiva entre os habitats: desde algumas centenas de metros para algumas abelhas selvagens até vários quilómetros para abelhas melíferas e abelhões (Danner et al. 2016, Steffan-Dewenter, Kuhn 2003).
* Entraves ao movimento de pequenos polinizadores (p. ex. florestas, sebes) e influência de práticas de gestão: ceifa, cultivo (geralmente negativo), vedação para gado (variada), etc.
* Preferências paisagísticas de diferentes polinizadores: borboletas - plantas para alimentação de larvas e grande cobertura de flores; sirfídeos - cobertura rica em insetos; abelhões - galerias; abelhas solitárias - terreno descoberto; abelhões - pastagens, etc. (Garibaldi et al. 2017, Holland et al. 2015).

## Considerações adicionais:

* Pode não ser eficiente em paisagens já com 20% ou mais de habitat atrativo para polinizadores (Wood, Holland & Goulson 2015).
* Será mais eficiente para polinizadores com longas distâncias de forragem (E Benjamin, R Reilly e Winfree 2014).
* A gestão das atividades de polinização em exclusivo pode não resultar numa maior diversidade de polinizadores naturais (Andersson et al. 2014).
* A disponibilidade de recursos de forragem próximos de ninhos de polinizadores pode reduzir a polinização de culturas agrícolas (Wolf, Moritz 2008).
* Os polinizadores generalistas normalmente beneficiam de uma dieta diversificada (Di Pasquale et al. 2013, Vaudo et al. 2015).
* As abelhas selvagens são polinizadoras geralmente mais importantes e eficientes do que as abelhas melíferas (Wei et al. 2002, Mallinger, Gratton 2015, Martins, Gonzalez e Lechowicz 2015).
* Requer planeamento por especialistas, colaboração entre proprietários de terrenos privados e públicos, despesas de estabelecimento, manutenção e retirada da produção agrícola (Isaacs et al. 2017).

## Descrição do método

1. *Identificar se existe défice de polinização nas culturas.*
2. *Identificar os principais polinizadores das culturas cultivadas na região.*
3. *Considerar as necessidades de nidificação e recursos florais dos grupos-alvo de polinizadores*
4. *Decidir a localização, dimensão, configuração e longevidade do projeto de recuperação.*
5. *Selecionar espécies de plantas adaptadas regionalmente, utilizar uma metodologia robusta para o estabelecimento de plantações e selecionar combinações de plantas que floresçam ao longo de todo o período vegetativo. (Gill et al. 2016, Jha, Burkle & Kremen 2013, Isaacs et al. 2017)*

#     2. Faixas de flores semeadas

As faixas de flores são habitats de pousio adicionais e diversificados que consistem em flores anuais e perenes. Estimulam os polinizadores ao oferecer recursos de pólen e néctar ao longo do período ativo de forragem ou durante períodos de recursos limitados. A criação de habitats ricos em flores que incluem plantas hospedeiras de borboletas pode reduzir a quantidade total de terra necessária para habitats naturais (Holland et al. 2015). A combinação de plantas com floração e gramíneas também pode suprimir alguns infestantes (Pywell et al. 2005, Smith, Firbank & Macdonald 1999).

## Especificidades

Diferentes plantas a incluir:

* plantas “de transição” (flor durante os períodos de poucos recursos)
* plantas com floração em massa (estimula o crescimento das colónias de abelhas)
* plantas “de estrutura” (fornecem recursos consideráveis de pólen e/ou néctar a numerosas e diversas espécies de polinizadores)
* espécies com grandes inflorescências ou com floração em parcelas de terreno densas (p. ex. malmequer-bravo)
* plantas para polinizadores especialistas (p. ex. plantas leguminosas para abelhões de língua comprida)
* plantas “favoritas” para diferentes grupos de polinizadores (p. ex. orégãos, cebolinho, alisso doce, trigo sarraceno, centáurea para sirfídeos)

(Menz et al. 2011, Jha, Burkle & Kremen 2013, Uyttenbroeck et al. 2017, Goulson 2017, Pywell et al. 2006, Herrmann et al. 2007).

## Considerações adicionais

* A presença de espécies de plantas atrativas pode resultar numa taxa mais elevada de visita às flores, mas não aumentará necessariamente a riqueza de espécies de polinizadores (Uyttenbroeck et al. 2017).
* Estas plantas podem competir pela polinização com culturas menos abundantes ou atrativas e plantas de floração nativas (Lopezaraiza–Mikel et al. 2007).
* Os efeitos positivos das faixas de flores nos polinizadores selvagens podem demorar a produzir efeitos, uma vez que a população atual normalmente reflete a disponibilidade de recursos do ano anterior (Roulston, Goodell 2011).
* Por vezes, os regimes agroambientais atuais só apoiam os polinizadores comuns (especialmente os abelhões) (Kovács-Hostyánszki et al. 2016).
* As plantas propostas podem ser eficazes apenas numa região específica e ser plantas infestantes noutra (Winfree 2010).

## Descrição do método

***Seleção de plantas em flor propícias para polinizadores:*** *Seguir um protocolo para identificar plantas de forragem importantes a nível regional e plantar espécies de plantas nativas da região. As espécies bem classificadas devem ser selecionadas com base em períodos de floração sobrepostos para assegurar a disponibilidade contínua de forragem ao longo da época de atividade dos insetos (Isaacs et al. 2009). Devem ser consideradas interações facilitadoras e competitivas entre as plantas (revisto em Menz et al. 2011).*

# 3. Plantas com floração prolífica

A inclusão de plantas com floração prolífica em faixas de flores semeadas e a plantação em áreas de flores silvestres pode oferecer proteção em períodos de escassez de recursos e oferecer um abastecimento constante. Os recursos precoces de floração em massa podem aumentar as populações de abelhas e melhorar a população de abelhas solitárias no ano seguinte, enquanto que as flores com floração tardia nessa época levam a uma maior produção de abelhas rainhas (Isaacs et al. 2017). As abelhas *megachilidae* e *halictidae* estão ativas durante um período mais curto da época vegetativa, pelo que os períodos de floração em massa devem ser calendarizados corretamente (Russo et al. 2013). A disponibilidade contínua de recursos ao longo de toda a época de atividade é necessária para as espécies mais sociais e multivoltívolas (Roulston, Goodell 2011). As culturas de plantas de floração em massa criam picos de recursos e excedentes de polinizadores que afetam a polinização desde 250 até 3000 m de distância (Westphal, Steffan-Dewenter & Tscharntke 2006).

## Considerações adicionais

* Viáveis sobretudo por dar apoio aos polinizadores geridos, podem ser menos favoráveis à criação de habitats de nidificação para polinizadores selvagens (Pufal, Steffan-Dewenter & Klein 2017).
* Os polinizadores selvagens em culturas de floração em massa podem ser deslocados no espaço por abelhas melíferas, com consequências potencialmente negativas (Lindstrom et al. 2016).
* As atividades de polinização por polinizadores selvagens podem ser mais pronunciadas nas margens dos campos do que no centro de culturas de plantas de floração em massa (Balzan, Bocci & Moonen 2016).
* Os episódios de floração em culturas de plantas de floração em massa tendem a ser temporários, ocorrendo numa fração da época de atividade para várias espécies de abelhas (Wratten et al. 2012).
* As densidades de polinizadores nas culturas pretendidas podem diminuir mediante um aumento das áreas de floração em massa (Holzschuh et al. 2016, Montero-Castaño, Ortiz-Sánchez & Vilà 2016).

# 4. Faixas de flores silvestres (faixas de proteção sem cultura, margens dos campos, habitats seminaturais)

Permitir a regeneração natural de flores silvestres ou proteger a vegetação nas margens dos campos pode melhorar a polinização das culturas e o controlo biológico de pragas e infestantes (Lindgren, Lindborg & Cousins 2018). No caso dos habitats naturais, não existe risco de falha das plantas semeadas.

A riqueza de insetos selvagens é maior nas áreas de habital seminatural. Consequentemente, embora as faixas de flores semeadas possam estimular a abundância das espécies existentes, apenas a preservação em grande escala do habitat (semi) natural permitirá manter a diversidade de polinizadores (Campbell et al. 2017).

Margens largas e adequadas intercaladas em campos amplos podem ser mais eficazes para polinizadores selvagens do que o preenchimento da paisagem de monocultura com várias margens pequenas e ineficazes. Contudo, por vezes a diminuição dos campos de monocultura é igualmente importante (Rands, Whitney 2010).

## Considerações adicionais

* Os efeitos das faixas de flores são frequentemente mais aparentes em polinizadores selvagens com períodos de voo prolongados (p. ex. abelhões) (Campbell et al. 2017).
* O aumento da densidade das flores selvagens pode afastar os polinizadores das culturas agrícolas em monoculturas (Rands, Whitney 2010). No entanto, alguns polinizadores (p. ex. abelhões) podem demonstrar uma preferência inata pela monocultura (Forrest & Thomson 2009, Gumbert 2000, Ings, Raine & Chittka 2009, Raine & Chittka 2007).
* Alguns polinizadores respondem positivamente à diversidade floral, enquanto outros são mais influenciados por plantas de floração em massa (Wood, Holland & Goulson 2015).
* Os habitats de flores selvagens têm uma influência positiva nas atividades de polinização, independentemente da localização geográfica (suporte a polinizadores nativos) (Cole et al. 2015).

## Descrição do método

1. *Deslocar e aumentar as margens dos campos (idealmente mais de 5 m de largura) e permitir a regeneração natural das plantas (Cole et al. 2015).*
2. *No caso de solos mais compactos, o cultivo inicial ou sementeira de plantas com raízes primárias pode acelerar a regeneração natural (Wood, Holland & Goulson 2015).*
3. *Melhorar os bancos de sementes selvagens nas margens dos campos (Rands, Whitney 2010) (p. ex. cultivo inicial, estruturas para deposição de recursos).*
4. *Semear recursos florais adicionais, tais como plantas em floração em massa e plantas para diferentes nichos de alimento, para aumentar o número e a diversidade de polinizadores.*
5. *Considerar cuidadosamente o design das margens dos campos para as espécies que não se deslocam para longe (Rands, Whitney 2010).*

# 5. Recuperação de plantas nativas em áreas naturais adjacentes

A recuperação de habitats que oferecem recursos de nidificação e forragem e facilitam o movimento dos polinizadores pode proporcionar uma melhoria das atividades de polinização em paisagens naturais e também em paisagens com intervenção humana (Jha, Burkle & Kremen 2013). As quintas localizadas próximo de áreas naturais podem receber todas as atividades de polinização exclusivamente de abelhas selvagens (Kremen, Williams & Thorp 2002, Kremen et al. 2004, Winfree et al. 2007).

## Especificidades

* As medidas para recuperar comunidades naturais de polinizadores junto de campos e pomares também beneficiarão a biodiversidade geral (Marini et al. 2012).
* A função dos habitats naturais no apoio às comunidades nativas de polinizadores pode ser mais importante em condições extremas, tais como a altitude elevada, onde as espécies de polinizadores e a abundância são menores (Marini et al. 2012).
* A presença de vestígios de habitats antigos pode ser crítica para a colonização de habitats recuperados recentemente (Forup, Memmott 2005, Forup et al. 2008).

## Considerações adicionais

* Esta medida pode ter maior influência na abundância de polinizadores selvagens do que de polinizadores geridos (Marini et al. 2012).
* As paisagens dominadas pela floresta podem ser mais benéficas para a riqueza das espécies locais do que as paisagens dominadas por pastagens.
* As populações de plantas em áreas recuperadas têm de ser suficientemente grandes para evitar o efeito de Allee - a redução da fecundidade das plantas em pequenas populações (Hobbs, Yates 2003, Ghazoul 2005).
* Os habitats com formato linear podem ser associados a um número reduzido de polinizadores individuais, uma vez que os elementos lineares têm um rácio mais elevado entre margens e interior, e a pressão de fatores de perturbação relacionados com as margens (Ewers, Didham 2007, Paton 1994).
* As florestas decíduas temperadas podem oferecer bons recursos florais na primavera para as abelhas, mas a floresta tende a não ter flor durante o verão (Heinrich 1976).

## Descrição do método

* *Recuperar e proteger pelo menos 10% do habitat selvagem na região (Holland et al. 2015). Isto duplicará a abundância de polinizadores e aves.*
* *Incluir uma menor pressão sobre as pastagens (p. ex. vedações), limitar as atividades humanas e permitir a sucessão natural (p. ex. abate seletivo de árvores em plantações florestais em monocultura e regeneração de vegetação natural) (Garibaldi et al. 2017).*

# Bibliografia

Albrecht, M., Schmid, B., Hautier, Y. & Muller, C.B. 2012. Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proceedings.Biological sciences, 279*(1748), pp. 4845-4852.

Andersson, G.K.S., Ekroos, J., Stjernman, M., Rundlöf, M. & Smith, H.G. 2014. Effects of farming intensity, crop rotation and landscape heterogeneity on field bean pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 184*, pp. 145-148.

Ashman, T., Knight, T.M., Steets, J.A., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D.R., Dudash, M.R., Johnston, M.O., Mazer, S.J. & Mitchell, R.J. 2004. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology, 85*(9), pp. 2408-2421.

Balzan, M.V., Bocci, G. & Moonen, A. 2016. Utilisation of plant functional diversity in wildflower strips for the delivery of multiple agroecosystem services. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 158*(3), pp. 304-319.

Blüthgen, N. & Klein, A. 2011. Functional complementarity and specialisation: the role of biodiversity in plant–pollinator interactions. *Basic and Applied Ecology, 12*(4), pp. 282-291.

Buchmann, S.L. and Nabhan, G.P., 2012. *The forgotten pollinators*. Island Press.

Campbell, A.J., Wilby, A., Sutton, P. & Wäckers, F.L. 2017. Do sown flower strips boost wild pollinator abundance and pollination services in a spring-flowering crop? A case study from UK cider apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 239*, pp. 20-29.

Cole, L.J., Brocklehurst, S., Robertson, D., Harrison, W. & McCracken, D.I. 2015. Riparian buffer strips: Their role in the conservation of insect pollinators in intensive grassland systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 211*, pp. 207-220.

Danner, N., Molitor, A.M., Schiele, S., Härtel, S. & Steffan‐Dewenter, I. 2016. Season and landscape composition affect pollen foraging distances and habitat use of honey bees. *Ecological Applications, 26*(6), pp. 1920-1929.

Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L.P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., Suchail, S., Brunet, J. & Alaux, C. 2013. Influence of pollen nutrition on honey bee health: do pollen quality and diversity matter? *PloS one, 8*(8), pp. e72016.

E Benjamin, F., R Reilly, J. & Winfree, R. 2014. Pollinator body size mediates the scale at which land use drives crop pollination services. *Journal of Applied Ecology, 51*(2), pp. 440-449.

Ewers, R.M. & Didham, R.K. 2007. The effect of fragment shape and species' sensitivity to habitat edges on animal population size. *Conservation Biology, 21*(4), pp. 926-936.

Forrest, J. & Thomson, J.D. 2009. Background complexity affects colour preference in bumblebees. *Naturwissenschaften, 96*(8), pp. 921-925.

Forup, M.L., Henson, K.S., Craze, P.G. & Memmott, J. 2008. The restoration of ecological interactions: plant–pollinator networks on ancient and restored heathlands. *Journal of Applied Ecology, 45*(3), pp. 742-752.

Forup, M.L. & Memmott, J. 2005. The restoration of plant–pollinator interactions in hay meadows. *Restoration Ecology, 13*(2), pp. 265-274.

Fründ, J., Dormann, C.F., Holzschuh, A. & Tscharntke, T. 2013. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology, 94*(9), pp. 2042-2054.

Gallai, N., Salles, J., Settele, J. & Vaissière, B.E. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics, 68*(3), pp. 810-821.

Garibaldi, L.A., Requier, F., Rollin, O. & Andersson, G.K. 2017. Towards an integrated species and habitat management of crop pollination. *Current Opinion in Insect Science, 21*, pp. 105-114.

Ghazoul, J. 2005. Pollen and seed dispersal among dispersed plants. *Biological Reviews, 80*(3), pp. 413-443.

Gill, R.J., Baldock, K.C.R., Brown, M.J.F., Cresswell, J.E., Dicks, L.V., Fountain, M.T., Garratt, M.P.D., Gough, L.A., Heard, M.S., Holland, J.M., Ollerton, J., Stone, G.N., Tang, C.Q., Vanbergen, A.J., Vogler, A.P., Woodward, G., Arce, A.N., Boatman, N.D., Brand-Hardy, R., Breeze, T.D., Green, M., Hartfield, C.M., O’Connor, R.S., Osborne, J.L., Phillips, J., Sutton, P.B. & Potts, S.G. 2016, "Chapter Four - Protecting an Ecosystem Service: Approaches to Understanding and Mitigating Threats to Wild Insect Pollinators" in *Ecosystem Services: From Biodiversity to Society, Part 2*, eds. G. Woodward & D.A. Bohan, Academic Press, , pp. 135-206.

Goulson, D. (2017). *The best garden flowers for bees*. [online] Sussex.ac.uk. Available at: http://www.sussex.ac.uk/lifesci/goulsonlab/resources/flowers [Accessed 13 Dec. 2017].

Gumbert, A. 2000. Color choices by bumble bees (*Bombus terrestris*): innate preferences and generalization after learning. *Behavioral Ecology and Sociobiology, 48*(1), pp. 36-43.

Heinrich, B. 1976. Flowering phenologies: bog, woodland, and disturbed habitats. *Ecology, 57*(5), pp. 890-899.

Herrmann, F., Westphal, C., Moritz, R.F. & Steffan‐Dewenter, I. 2007. Genetic diversity and mass resources promote colony size and forager densities of a social bee (*Bombus pascuorum*) in agricultural landscapes. *Molecular ecology, 16*(6), pp. 1167-1178.

Hobbs, R.J. & Yates, C.J. 2003. Impacts of ecosystem fragmentation on plant populations: generalising the idiosyncratic. *Australian Journal of Botany, 51*(5), pp. 471-488.

Holland, J.M., Smith, B.M., Storkey, J., Lutman, P.J.W. & Aebischer, N.J. 2015. Managing habitats on English farmland for insect pollinator conservation. *Biological Conservation, 182*, pp. 215-222.

Holzschuh, A., Dainese, M., González‐Varo, J.P., Mudri‐Stojnić, S., Riedinger, V., Rundlöf, M., Scheper, J., Wickens, J.B., Wickens, V.J. & Bommarco, R. 2016. Mass‐flowering crops dilute pollinator abundance in agricultural landscapes across Europe. *Ecology Letters, 19*(10), pp. 1228-1236.

Ings, T.C., Raine, N.E. & Chittka, L. 2009. A population comparison of the strength and persistence of innate colour preference and learning speed in the bumblebee *Bombus terrestris*. *Behavioral Ecology and Sociobiology, 63*(8), pp. 1207-1218.

Isaacs, R., Tuell, J., Fiedler, A., Gardiner, M. & Landis, D. 2009. Maximizing arthropod‐mediated ecosystem services in agricultural landscapes: the role of native plants. *Frontiers in Ecology and the Environment, 7*(4), pp. 196-203.

Isaacs, R., Williams, N., Ellis, J., Pitts-Singer, T.L., Bommarco, R. & Vaughan, M. 2017. Integrated Crop Pollination: Combining strategies to ensure stable and sustainable yields of pollination-dependent crops. *Basic and Applied Ecology, 22*, pp. 44-60.

Jha, S., Burkle, L. & Kremen, C. 2013, "4.11 - Vulnerability of Pollination Ecosystem Services" in *Climate Vulnerability*, ed. R.A. Pielke, Academic Press, Oxford, pp. 117-128.

Kearns, C.A., Inouye, D.W. & Waser, N.M. 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics, 29*(1), pp. 83-112.

Kennedy, C.M., Lonsdorf, E., Neel, M.C., Williams, N.M., Ricketts, T.H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A.L. & Cariveau, D. 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters, 16*(5), pp. 584-599.

Kovács-Hostyánszki, A., Földesi, R., Mózes, E., Szirák, Á., Fischer, J., Hanspach, J. & Báldi, A. 2016. Conservation of pollinators in traditional agricultural landscapes–new challenges in Transylvania (Romania) posed by EU accession and recommendations for future research. *PloS one, 11*(6), pp. e0151650.

Kremen, C., Williams, N.M., Bugg, R.L., Fay, J.P. & Thorp, R.W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters, 7*(11), pp. 1109-1119.

Kremen, C., Williams, N.M. & Thorp, R.W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99*(26), pp. 16812-16816.

Lindgren, J., Lindborg, R. & Cousins, S.A.O. 2018. Local conditions in small habitats and surrounding landscape are important for pollination services, biological pest control and seed predation. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 251*, pp. 107-113.

Lindstrom, S.A., Herbertsson, L., Rundlof, M., Bommarco, R. & Smith, H.G. 2016. Experimental evidence that honeybees depress wild insect densities in a flowering crop. *Proceedings. Biological sciences, 283*(1843), pp. 10.1098/rspb.2016.1641.

Lopezaraiza–Mikel, M.E., Hayes, R.B., Whalley, M.R. & Memmott, J. 2007. The impact of an alien plant on a native plant–pollinator network: an experimental approach. *Ecology Letters, 10*(7), pp. 539-550.

Mallinger, R.E. & Gratton, C. 2015. Species richness of wild bees, but not the use of managed honeybees, increases fruit set of a pollinator‐dependent crop. *Journal of Applied Ecology, 52*(2), pp. 323-330.

Marini, L., Quaranta, M., Fontana, P., Biesmeijer, J.C. & Bommarco, R. 2012. Landscape context and elevation affect pollinator communities in intensive apple orchards. *Basic and Applied Ecology, 13*(8), pp. 681-689.

Martins, K.T., Gonzalez, A. & Lechowicz, M.J. 2015. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 200*, pp. 12-20.

Menz, M.H.M., Phillips, R.D., Winfree, R., Kremen, C., Aizen, M.A., Johnson, S.D. & Dixon, K.W. 2011. Reconnecting plants and pollinators: challenges in the restoration of pollination mutualisms. *Trends in Plant Science, 16*(1), pp. 4-12.

Montero-Castaño, A., Ortiz-Sánchez, F.J. & Vilà, M. 2016. Mass flowering crops in a patchy agricultural landscape can reduce bee abundance in adjacent shrublands. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 223*, pp. 22-30.

Olesen, J.M., Bascompte, J., Elberling, H. & Jordano, P. 2008. Temporal dynamics in a pollination network. *Ecology, 89*(6), pp. 1573-1582.

Paton, P.W. 1994. The effect of edge on avian nest success: How strong is the evidence? *Conservation Biology, 8*(1), pp. 17-26.

Pufal, G., Steffan-Dewenter, I. & Klein, A. 2017. Crop pollination services at the landscape scale. *Current Opinion in Insect Science, 21*, pp. 91-97.

Pywell, R., Warman, E., Carvell, C., Sparks, T., Dicks, L., Bennett, D., Wright, A., Critchley, C. & Sherwood, A. 2005. Providing foraging resources for bumblebees in intensively farmed landscapes. *Biological Conservation, 121*(4), pp. 479-494.

Pywell, R., Warman, E., Hulmes, L., Hulmes, S., Nuttall, P., Sparks, T., Critchley, C. & Sherwood, A. 2006. Effectiveness of new agri-environment schemes in providing foraging resources for bumblebees in intensively farmed landscapes. *Biological Conservation, 129*(2), pp. 192-206.

Raine, N.E. & Chittka, L. 2007. The adaptive significance of sensory bias in a foraging context: floral colour preferences in the bumblebee *Bombus terrestris*. *PLoS One, 2*(6), pp. e556.

Rands, S.A. & Whitney, H.M. 2010. Effects of pollinator density-dependent preferences on field margin visitations in the midst of agricultural monocultures: A modelling approach. *Ecological Modelling, 221*(9), pp. 1310-1316.

Roulston, T.H. & Goodell, K. 2011. The role of resources and risks in regulating wild bee populations. *Annual Review of Entomology, 56*, pp. 293-312.

Russo, L., DeBarros, N., Yang, S., Shea, K. & Mortensen, D. 2013. Supporting crop pollinators with floral resources: network‐based phenological matching. *Ecology and evolution, 3*(9), pp. 3125-3140.

Samnegård, U., Persson, A.S. & Smith, H.G. 2011. Gardens benefit bees and enhance pollination in intensively managed farmland. *Biological Conservation, 144*(11), pp. 2602-2606.

Senapathi, D., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Kleijn, D., Potts, S.G. & Carvalheiro, L.G. 2015. Pollinator conservation—the difference between managing for pollination services and preserving pollinator diversity. *Current Opinion in Insect Science, 12*, pp. 93-101.

Smith, H., Firbank, L. & Macdonald, D. 1999. Uncropped edges of arable fields managed for biodiversity do not increase weed occurrence in adjacent crops. *Biological Conservation, 89*(1), pp. 107-111.

Steffan-Dewenter, I. & Kuhn, A. 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings.Biological sciences, 270*(1515), pp. 569-575.

Uyttenbroeck, R., Piqueray, J., Hatt, S., Mahy, G. & Monty, A. 2017. Increasing plant functional diversity is not the key for supporting pollinators in wildflower strips. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 249*, pp. 144-155.

Vaudo, A.D., Tooker, J.F., Grozinger, C.M. & Patch, H.M. 2015. Bee nutrition and floral resource restoration. *Current Opinion in Insect Science, 10*, pp. 133-141.

Wei, S., Wang, R., Smirle, M.J. & Xu, H. 2002. Release of *Osmia excavata* and *Osmia jacoti* (Hymenoptera: Megachilidae) for apple pollination. *The Canadian Entomologist, 134*(3), pp. 369-380.

Westphal, C., Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. 2006. Bumblebees experience landscapes at different spatial scales: possible implications for coexistence. *Oecologia, 149*(2), pp. 289-300.

Winfree, R. 2010. The conservation and restoration of wild bees. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1195*(1), pp. 169-197.

Winfree, R., Williams, N.M., Dushoff, J. & Kremen, C. 2007. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. *Ecology Letters, 10*(11), pp. 1105-1113.

Wolf, S. & Moritz, R.F. 2008. Foraging distance in *Bombus terrestris* L.(Hymenoptera: Apidae). *Apidologie, 39*(4), pp. 419-427.

Wood, T.J., Holland, J.M. & Goulson, D. 2015. Pollinator-friendly management does not increase the diversity of farmland bees and wasps. *Biological Conservation, 187*, pp. 120-126.

Wratten, S.D., Gillespie, M., Decourtye, A., Mader, E. & Desneux, N. 2012. Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 159*, pp. 112-122.