

## SELVICOLTURA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

(\*) Dipartimento di Colture Arboree, Università di Bologna

(\*\*) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo, CNR-ISAFOM, Rende, Cosenza

Sebbene il ciclo di vita naturale dei boschi sia sempre caratterizzato da una notevole variabilità climatica ed ambientale, il cambiamento climatico e globale in corso influenzerà in modo nuovo e non facilmente prevedibile la dinamica e l'accrescimento dei popolamenti forestali, a causa non solo dell'aumento di temperature e richieste evapotraspirative, ma anche della maggiore frequenza di eventi estremi, dell'irregolarità di precipitazione, dell'aumento di concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>, delle deposizioni azotate.

Numerose evidenze dimostrano come la produttività e le dinamiche di accrescimento dei boschi europei negli ultimi 40-50 anni siano state influenzate in senso positivo da aumento di CO<sub>2</sub>, deposizioni azotate e variazioni climatiche. In ambiente mediterraneo, al contrario, le variazioni climatiche in atto sembrerebbero avere influito in senso negativo sulla produttività forestale, in particolare al limite meridionale dell'areale delle specie.

Partendo da dati sperimentali e risultati di simulazioni modellistiche si cercherà pertanto di indicare quali opzioni selvicolturali possano essere più idonee a favorire l'adattamento degli ecosistemi forestali ai cambiamenti globali, ed a stimolare la loro capacità di mitigare i cambiamenti climatici stessi. Viene in particolare sottolineata l'importanza della conservazione della sostanza organica, per una gestione selvicolturale realmente sostenibile e di lungo termine.

La composizione, produttività e vulnerabilità degli ecosistemi forestali sono stati modificati nel corso degli ultimi decenni dal cambiamento climatico e globale, nelle loro diverse componenti, e tali modificazioni sono destinate ad accentuarsi nel prossimo secolo. Il selvicoltore è chiamato oggi a riconoscere e prevedere le dinamiche in atto, per modificare dove necessario le pratiche colturali al fine di prevenire i rischi ed esaltare i benefici della gestione selvicolturale per la mitigazione del cambiamento climatico.

I diversi meccanismi di azione del cambiamento globale sulle foreste verranno brevemente analizzati, evidenziando i potenziali effetti, tanto positivi quanto negativi, sulle foreste. La fissazione di carbonio da parte delle foreste può contribuire in maniera significativa alla riduzione della concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>, mitigando in tal modo il temuto aumento della temperatura globale e le conseguenti modificazioni del clima globale (Nabuurs *et al.*, 2007). La combinazione di questi meccanismi incrociati può dare origine a cicli di retroazione negativa, dall'effetto stabilizzante sul clima globale, o al contrario ad un *feedback* positivo, che aumenterebbe ulteriormente le modificazioni climatiche globali (Fig. 1). La selvicoltura sostenibile, stimolando la capacità di fissazione di C da parte delle foreste, può esaltare il loro contributo alla stabilizzazione del clima; al contrario pratiche selvicolturali non sostenibili potrebbero deprimere tale contributo, riducendo al contempo la stabilità degli ecosistemi forestali. Una corretta comprensione dei meccanismi coinvolti costituisce pertanto una importante sfida per le scienze forestali nel nuovo millennio.

## LE DINAMICHE IN ATTO

Sebbene il ciclo di vita naturale dei boschi sia sempre caratterizzato da una notevole variabilità climatica ed ambientale, le tendenze in atto e previste influenzeranno in

modo nuovo e non facilmente prevedibile la dinamica e l'accrescimento dei popolamenti forestali, a causa non solo dell'aumento di temperature e richieste evapotraspirative, ma anche della maggiore frequenza di eventi estremi, dell'irregolarità di precipitazione, dell'aumento di concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>, delle deposizioni azotate.

Studi manipolativi a livello di intero ecosistema, in cui l'intero bosco è stato esposto per anni a livelli di CO<sub>2</sub> ben superiori a quelli attuali (FACE, *free air carbon enrichment*) hanno dimostrato l'effetto di stimolo dell'alta CO<sub>2</sub> su crescita e fissazione di C da parte del bosco, anche se tale effetto benefico è risultato in genere inferiore alle iniziali aspettative (Ainsworth *et al.*, 2005). Studi a scala globale hanno inoltre suggerito un effetto benefico dell'aumento della temperatura globale sulla crescita delle foreste, portando ad un aumento della densità forestale soprattutto alle alte latitudini (Myneni *et al.*, 2001). In ambiente mediterraneo, al contrario, le aumentate temperature e la conseguente maggiore richiesta evapotraspirativa sembrerebbero avere influito in senso negativo sulla produttività forestale, in particolare al limite meridionale dell'areale delle specie (Peñuelas *et al.*, 2008; Piovesan *et al.*, 2008). Facendo riferimento alle foreste italiane, quindi, è ragionevole attendersi effetti contrastanti dell'aumento di CO<sub>2</sub> e del cambiamento climatico a seconda della fascia altitudinale e della latitudine, come predetto da dettagliati modelli dell'ecosistema (Fig. 2). Anche in aree temperate e boreali, inoltre, annate particolarmente calde possono vanificare gli effetti benefici dell'aumento della temperatura (Ciais *et al.*, 2005), aumentando fra l'altro il rischio di incendi (Westering *et al.*, 2006).

Al di là degli effetti sulla crescita, inoltre, non bisogna dimenticare i possibili effetti di un mutato regime climatico sui processi di fruttificazione e disseminazione (Poncet *et al.*, 2009) ed i rischi indotti da gelate tardive o precoci.

Adottando una prospettiva ecosistemica, infine, è importante sottolineare come delle più miti temperature possano beneficiare anche insetti e patogeni, aumentando la frequenza e l'intensità dei danni al bosco (Kurz *et al.*, 2008).

Produttività forestale e biodiversità potrebbero infine essere modificate sensibilmente da un'altra importante componente del cambiamento globale in atto, legata alle deposizioni sugli ecosistemi forestali di azoto reattivo, un sotto-prodotto dell'agricoltura intensiva e dell'uso di combustibili fossili. Recenti studi hanno infatti mostrato una stretta correlazione fra deposizioni azotate e fissazione di C da parte del bosco (Magnani *et al.*, 2007).

Nel complesso, ci si attende pertanto che le modificazioni globali in atto portino ad un aumento della crescita del bosco, mettendo al contempo a rischio la perpetuità di alcune tipologie di ecosistemi, in particolare quelli mesofili, e causando una variazione nella distribuzione delle specie, con spostamenti di areali e fasce fitoclimatiche.

L'effetto complessivo di queste modificazioni ambientali sulla crescita del bosco sono già evidenti da una rianalisi dei dati degli inventari forestali europei: la produttività delle foreste del continente è infatti aumentata sensibilmente nel corso degli ultimi 50 anni (Ciais *et al.*, 2008); l'effetto, peraltro, appare molto più limitato nella regione mediterranea, a causa delle già ricordate limitazioni imposte dalla disponibilità idrica (Gold 2003).

#### GESTIONE SELVICOLTURALE E STABILITÀ DEGLI ECOSISTEMI FORESTALI

Proprio nelle regioni a clima mediterraneo la gestione selvicolturale potrebbe avere le ricadute più importanti, tanto sulla capacità del bosco di sottrarre C dall'atmosfera quanto nell'influenzare la sua resistenza alle modificazioni in atto e nel determinare il segno dell'effetto complessivo del cambiamento globale.

Ci si concentrerà qui su due importanti effetti della gestione selvicolturale: sulla conservazione della sostanza organica dei suoli e sulla regolazione della disponibilità idrica per le piante, con importanti implicazioni sul vigore delle piante e sulla loro resistenza ai disturbi biotici e abiotici.

Modulando la struttura delle età del bosco e l'apporto di sostanza organica al suolo la gestione forestale ha importanti effetti sulla capacità dell'ecosistema di sottrarre C dall'atmosfera e, al contempo, di immobilizzarlo nel suolo sotto forma di sostanza organica (Fig. 3; Jandl *et al.*, 2007). La regolazione del turno forestale ha importanti effetti sulla produttività primaria netta del bosco, e l'allungamento del turno forestale (o addirittura l'interruzione dei tagli) può portare ad una riduzione della sua capacità di fissare carbonio atmosferico. L'effetto è ancora più importante quando si consideri non la crescita ma la produttività netta dell'ecosistema (NEP, *net ecosystem production*), a causa del maggiore rilascio al suolo di sostanza organica sotto forma di biomassa legnosa non più prelevata dal selvicoltore, destinata a decomporsi e a fare in parte ritorno all'atmosfera. Al tempo stesso il maggiore apporto di carbonio e nutrienti comporta un progressivo accumulo della sostanza organica del suolo, con un conseguente lento aumento della fertilità stazionale (Pregitzer *et al.*,

2004). Queste ricadute di lungo termine sembrerebbero in effetti contrastare l'effetto diretto dell'età: recenti studi a scala globale hanno in effetti mostrato come le foreste vetuste, nonostante l'età avanzata delle piante, abbiano tassi di crescita e di fissazione di carbonio non sensibilmente inferiori a quelli osservati in boschi gestiti di più giovane età (Luyssaert *et al.*, 2008).

Le implicazioni della conservazione della sostanza organica del suolo sono ancora più importanti nel caso dei boschi mediterranei, a causa dei suoi effetti positivi sulla capacità di ritenzione idrica dei suoli: suoli ricchi di sostanza organica, infatti, sono caratterizzati tipicamente da una maggiore porosità (Yang *et al.*, 2007), e quindi da una maggiore capacità di trattenere l'acqua delle precipitazioni primaverili per permettere alle piante di superare l'aridità estiva.

Alla luce di quanto detto, la conservazione della sostanza organica del suolo attraverso corrette pratiche selvicolturali deve quindi considerarsi condizione indispensabile perché le foreste mediterranee possa avvantaggiarsi degli effetti benefici del cambiamento globale e non venire al contrario danneggiate. Pratiche selvicolturali intensive possono infatti portare ad un progressivo depauperamento dei suoli (Zhang *et al.*, 2004). Tecniche di meccanizzazione forestale spinta potrebbero pure portare ad una compattazione dei suoli, con conseguente maggiore vulnerabilità all'aridità e agli effetti del cambiamento climatico (Williamson *et al.*, 2000).

Numerosi studi hanno dimostrato una riduzione della sostanza organica anche in seguito a pratiche generalmente accettate come pienamente sostenibili, quali i diradamenti (Slodcak *et al.*, 2005; Jandl *et al.*, 2007). L'effetto dei diradamenti in area mediterranea, d'altra parte, merita un'attenta considerazione. A fronte dell'impatto negativo sulla sostanza organica del suolo, infatti, non bisogna dimenticare come la regolazione della densità del bosco porti ad un aumento della disponibilità idrica per le piante rilasciate (Schiller *et al.*, 2003), con un conseguente aumento del loro vigore e quindi della capacità di far fronte all'aumentata richiesta evapo-traspirativa indotta dal cambiamento climatico.

#### CONCLUSIONI

Risulta evidente da quanto detto come la previsione dei possibili effetti sul bosco del cambiamento climatico (e del cambiamento globale nel suo complesso, di cui le modificazioni climatiche costituiscono solo un tassello, per quanto importante) e delle opzioni selvicolturali a nostra disposizione risulti particolarmente complessa e non permetta facili generalizzazioni. Il segno complessivo degli effetti futuri su crescita e stabilità del bosco potrà variare a seconda delle condizioni ambientali considerate. Di certo, la pianificazione dei trattamenti selvicolturali più idonei per ridurre gli effetti negativi (o per esaltarne gli effetti benefici) richiederà di adottare una prospettiva realmente olistica, che non si concentri solo sugli effetti di breve termine - certo più evidenti - ma riesca a prevedere anche l'impatto di lungo periodo dell'azione del selvicoltore su tutte le componenti dell'ecosistema.

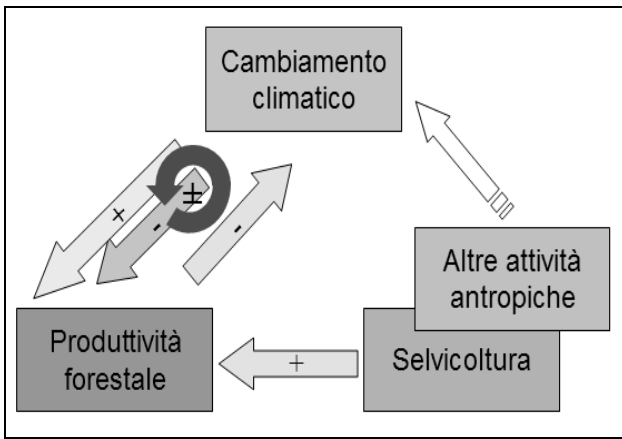


Figura 1. Diagramma di flusso delle mutue interrelazioni fra foresta, uomo e clima. A seconda che prevalgano gli effetti positivi o negativi del cambiamento climatico, l'interazione fra questo e le foreste potrà dar luogo ad un ciclo di retroazione negativo (stabilizzante) o positivo (destabilizzante). A differenza della maggior parte delle attività antropiche, la selvicoltura sostenibile, stimolando la produttività forestale, porterà in genere ad una mitigazione del cambiamento climatico.

Figure 1. Influence diagram of the relationship between forest, climate and man. Depending on whether the positive or negative effects of climate change will predominate, the interaction with forests will result in a negative (i.e. stabilizing) or positive (i.e. disruptive) feedback. In contrast with most anthropogenic activities, sustainable silvicultural practices are expected to result in the mitigation of climate change.

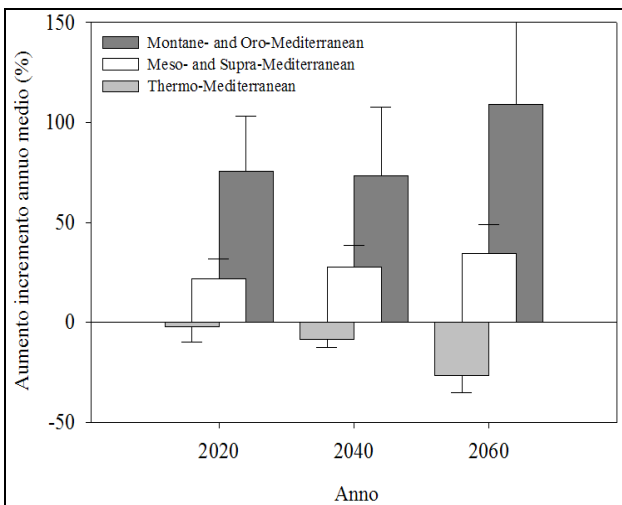


Figura 2. Impatto atteso del cambiamento climatico sulla produttività delle foreste italiane nel prossimo secolo, sulla base delle predizioni del modello di processo HYDRALL (Magnani *et al.*, 2002; 2004; Kramer *et al.*, 2002; Scarascia Mugnozza *et al.*, 2000). A causa dell'aumentato stress idrico, gli effetti attesi potrebbero essere negativi nella fascia termo-mediterranea.

Figure 2. Expected impact of climate change on the productivity of Italian forests over the century, based on predictions from the HYDRALL process model (Magnani *et al.*, 2002; 2004; Kramer *et al.*, 2002; Scarascia Mugnozza *et al.*, 2000). Because of the increasing water stress, a negative effect is expected in the thermo-Mediterranean region.

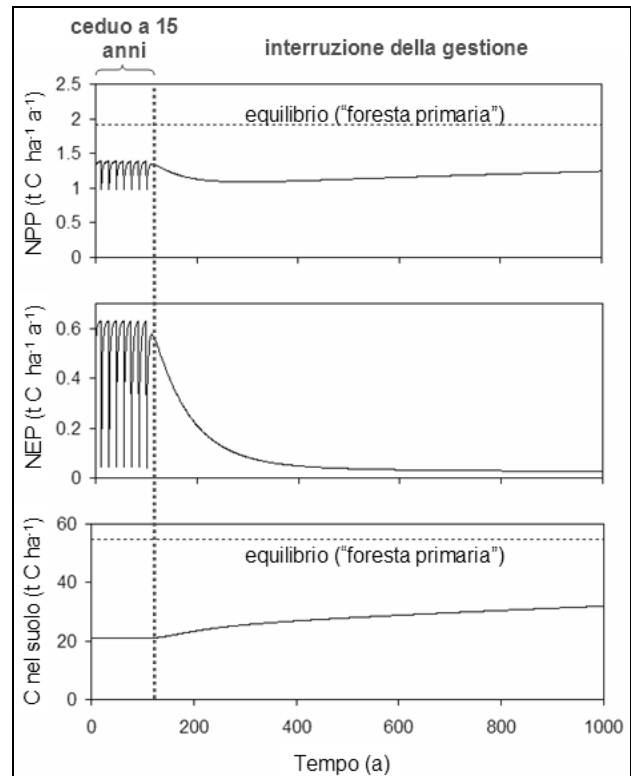


Figura 3. Effetti dell'interruzione del governo a ceduo e della gestione forestale, come predetti dal modello ecologico G'DAY (Comins *et al.*, 1993; Murty *et al.*, 2000; Dezi *et al.*, 2009). L'invecchiamento del bosco porterebbe ad un iniziale calo della produttività primaria netta (NPP), seguito da un lento aumento all'aumentare della fertilità stazionaria, legata all'accumulo del C e dei nutrienti nel suolo. La produttività netta dell'ecosistema (NEP) calerebbe invece, a causa dell'aumentato rilascio al suolo della biomassa legnosa non utilizzata.

Figure 3. Long-term effects of coppice abandonment, as predicted by the G'DAY biogeochemical model (Comins *et al.*, 1993; Murty *et al.*, 2000; Dezi *et al.*, 2009). Forest ageing would induce an initial decline in net primary production (NPP), followed by a slow increase as C and nutrients accumulate in the soil and site fertility increases. Net ecosystem production (NEP), on the contrary, would decline as a result of the increased input into the soil of woody biomass, not exported by forest management.

## SUMMARY

### SILVICULTURE AND CLIMATE CHANGE

Although the life cycle of forests is typically subject to a large climatic and environmental variability, forest growth and long-term dynamics will be affected by climate- and global change in new and largely unpredictable ways. Forests will be exposed in the future not only to higher temperatures and evaporative demand, but also to more frequent extreme events, a change in precipitation patterns, higher atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations and variable N deposition.

Several studies demonstrate the positive effects of warmer temperatures, elevated CO<sub>2</sub> and N deposition on European forests over the last 40-50 years. In the Mediterranean region, however, climate change seems to have had a detrimental effect on forests, in particular at the Southern edge of the distribution range. Based on experimental and modelling results, we will consider what silvicultural prac-

tices could prove more effective in stimulating the resistance of forest ecosystems to global change. The role of soil organic matter will be highlighted, for a truly sustainable silviculture in a long-term perspective.

## BIBLIOGRAFIA

- Ainsworth EA, Long SP (2005) *What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>*. *New Phytologist* 165 351-372.
- Ciais P, Reichstein M, Viovy N, et al (2005) *Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003*. *Nature* 437 529-533.
- Ciais P, Schelhaas MJ, Zaehle S, et al (2008) *Carbon accumulation in European forests*. *Nature Geoscience* 1 425-429.
- Comins HN, McMurtrie RE (1993) *Long-term response of nutrient-limited forests to CO<sub>2</sub> enrichment. Equilibrium behavior of plant-soil models*. *Ecological Applications* 3 666-681.
- Dezi S, Medlyn B, Tonon G, Magnani F (2009) *Effect of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: model analysis*. *Global Change Biology* in preparation .
- Gold S (2003) *The Development of the European Forest Resources, 1950 to 2000. A Better Information Base*. Geneva Timber and Forest Discussion Paper 31. UNECE-FAO, Geneva.
- Jandl R, Vesterdal L, Olsson M, Bens O, Badeck F, Rock J (2007) *Carbon sequestration and forest management*. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 2 1-16.
- Kramer K, Leinonen I, Bartelink HH, et al (2002) *Evaluation of 6 process-based forest growth models based on eddy-covariance measurements of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O fluxes at 6 forest sites in Europe*. *Global Change Biology* 8 213-230.
- Kurz WA, Dymond CC, Stinson G, et al (2008) *Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change*. *Nature* 452 987-990.
- Luyssaert S, Schulze E-D, Börner A, et al (2008) *Old-growth forests as global carbon sinks*. *Nature* 455 213-215.
- Magnani F, Consiglio L, Erhard M, Nolè A, Ripullone F, Borghetti M (2004) *Growth patterns and carbon balance of Pinus radiata and Pseudotsuga menziesii plantations under climate change scenarios in Italy*. *Forest Ecology and Management* 202 93-105.
- Magnani F, Grace J, Borghetti M (2002) *Adjustment of tree structure in response to the environment under hydraulic constraints*. *Functional Ecology* 16 385-393.
- Magnani F, Mencuccini M, Borghetti M, et al (2007) *The human footprint in the carbon cycle of established temperate and boreal forests*. *Nature* 447 848-850.
- Murty D, McMurtrie RE (2000) *The decline of forest productivity as stands age: a model-based method for analysing causes for the decline*. *Ecological Modelling* 134 185-205.
- Myneni RB, Dong J, Tucker CJ, et al (2001) *A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 98 14784-14789.
- Nabuurs GJ, Masera O, Andrasko K, Benitez-Ponce P, Boer R, Dutschke M, Elsiddig E, Ford-Robertson J, Frumhoff P, Karjalainen T, Krankina O, Kurz WA, Matsumoto M, Oyhantcabal W, Ravindranath NH, Sanz Sanchez MJ, Zhang X (2007) *Forestry*. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA), Cambridge University Press, Cambridge.
- Peñuelas J, Hunt JM, Ogaya R, Jump AS (2008) *Twentieth century changes of tree-ring 13C at the southern range-edge of Fagus sylvatica: increasing water-use efficiency does not avoid the growth decline induced by warming at low altitudes*. *Global Change Biology* 14 1-13.
- Piovesan G, Biondi F, Di Filippo A, Alessandrini A, Maugeri M (2008) *Drought-driven growth reduction in old beech (Fagus sylvatica L.) forests of the central Apennines, Italy*. *Global Change Biology* 14 1-17.
- Poncet BN, Garat P, Manel S, et al (2009) *The effect of climate on masting in the European larch and on its specific seed predators*. *Oecologia* 159 527-537.
- Pregitzer KS, Euskirchen ES (2004) *Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age*. *Global Change Biology* 10 2052-2077.
- Scarascia Mugnozza G, Matteucci G, Magnani F, Borghetti M (2000) *Italy, Malta, Greece and Albania*. In: *Expert Assessments on the Likely Impacts of Climate Change on Forests and Forestry in Europe* (eds Kellomäki S, Karjalainen T, Mohren GMJ, Lapveteläinen T), pp. 81-86. European Forest Institute, Joensuu.
- Schiller G, Unger ED, Moshe Y, Cohen S, Cohen Y (2003) *Estimating water use by sclerophyllous species under east Mediterranean climate II. The transpiration of Quercus calliprinos Webb. in response to silvicultural treatments*. *Forest Ecology and Management* 179 483-495.
- Slodicak M, Novak J, Skovsgaard JP (2005) *Wood production, litter fall and humus accumulation in a Czech thinning experiment in Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.)*. *Forest Ecology and Management* 209 157-166.
- Westerling AL, Hidalgo HG, Cayan DR, Swetnam TW (2006) *Warming and earlier spring increase Western U.S. forest wildfire activity*. *Science* 313 940-943.
- Williamson JR, Neilsen WA (2000) *The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting*. *Canadian Journal of Forest Research* 30 1196-1205.
- Yang Y, Mohammat A, Feng J, Zhou R, Fang J (2007) *Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China*. *Biogeochemistry* 84 131-141.
- Zhang XQ, Kirschbaum MUF, Hou ZH, Guo ZH (2004) *Carbon stock changes in successive rotations of Chinese fir (Cunninghamia lanceolata (Lamb) Hook) plantations*. *Forest Ecology and Management* 202 131-147.