

Rapport till slutseminarium för projektet "Våtmarker i odlingslandskapet –  
uppföljning av miljömålen" 22 januari 2009

---

# Sedimentens roll för fosforfastläggningen i en anlagd våtmark



Karin Johannesson  
IFM Ekologi



## Introduktion

Bakgrunden till rapporten är fosfor, och hur den bidrar till övergödningen av sjöar och hav. Fosfor är begränsande i akvatiska system – detta innebär att all den fosfor som kommer till ett system i tillgänglig form kommer att tas upp av t ex alger och mikroorganismer (Kalff, 2002). Ju mer fosfor som tillförs desto högre blir tillväxten av alger och växter – och risken för övergödning, med syrefria bottenar som följd, ökar. Det är därför viktigt att minska spridningen av fosfor, och våtmarker har visat sig kunna avskilja fosfor (bl a Braskerud *m. fl.*, 2005). Olika våtmarker är olika effektiva i sin fosforavskiljning, och därför är det viktigt att försöka fastställa dels hur mycket fosfor en våtmark håller kvar, dels hur stabilt bunden den är. Till en våtmark kommer fosfor i olika former; partikulär, löst oorganisk och löst organisk fosfor. Av dessa tre är det framför allt löslig oorganisk fosfor som direkt kan användas av växter, alger och mikroorganismer. Den partikulära och organiska fosforerna måste förändras för att bli biologiskt tillgänglig (Reddy *m. fl.*, 1999).

Det finns tre olika sätt en våtmark kan hålla kvar inkommande fosfor (Dunne *m. fl.*, 2005). Det första är genom sedimentation av partikelbunden fosfor. Det andra är genom kemiska utfällningar – fosfor kan bindas till järn-, aluminium- och kalciumföreningar som sedan hålls kvar i sedimentet. Det tredje är genom biologiskt upptag. När man talar om fosforretention, dvs fastläggning av fosfor, är det viktigt att skilja mellan långvarig och kortvarig retention. Man eftersträvar långvarig retention eftersom detta innebär att fosfor hålls kvar länge. Till den långvariga retentionen brukar man räkna sedimentation, utfällning och ansamling av organiskt material – och den fosfor som är bundet till detta material (Reddy *m. fl.*, 1999). Till den kortvariga retentionen brukar man räkna växtupptag, eftersom mycket av den upptagna fosforen kommer att frigöras när växten dör.

I våtmarken i Södra Stene finns det mycket data om inkommande och utgående fosforhalter, och efter fyra års studier står det klart att våtmarken fungerar som en fosforfälla, dvs att den håller kvar fosfor (Andersson *m. fl.*, 2006). Eftersom den största andelen inkommande fosfor är i partikulär form kan man anta att den primära retentionsmekanismen är sedimentation. Men hur ser fosfordistributionen ut i själva sedimentet? Kan man med hjälp av sedimentanalyser uttala sig om hur stabilt bunden fosfor är, och därmed dra slutsatser om den långsiktiga retentionen? Dessutom, hur väl överensstämmer den beräknade fosforretentionen (baserad på in- och utmängder av fosfor) med den faktiska mängden fosfor i nybildat sediment?

Målet för mitt arbete var att jämföra den *beräknade* fosforretentionen med den *uppmätta* mängden i sedimentet, samt att undersöka var i våtmarken huvuddelen av fosfor ligger bunden och i vilken form den förekommer.

## Metod

Våtmarken delades in i fem sektioner – ett område nära inloppet, ett nära utloppet, ett i anslutning till ett område där ett avloppsrör mynnar, samt två områden med tät vegetation, ett nära inloppet och ett nära utloppet. Detta gjordes för att undersöka om de olika områdena skilde sig åt med avseende på fosforinnehåll.

Jag ville undersöka hur stor mängd sediment som har ackumulerats under de år våtmarken har varit i drift. För att göra detta behövde jag få reda på tjockleken och densiteten av sedimentet – denna siffra multipliceras sedan med arean av våtmarken. Det var en tydlig gräns mellan det nyligen sedimenterade materialet och den underliggande lerjorden, så tanken var att vi med hjälp av markradarmätningar lätt skulle få en siffra på sedimenttjockleken i våtmarken. Dock blev radarmätningarna ganska begränsade, bl a på grund av ett för tunt istäcke och en svårtolkad radarbild. Kompletterande mätningar gjordes därför manuellt med en metallspets. I slutänden fick jag fram siffror över mängden nybildat sediment i olika delar av våtmarken.

I våtmarken togs 30 sedimentprover med hjälp av ett plexiglasrör. Det nyligen ackumulerade sedimentet och den underliggande leran separerades och togs in på lab, där de torkades och maldes för att sedan analyseras. För att bestämma totalhalten av fosfor kokades proverna i saltsyra. Fosfor i sedimentet löstes ut vid kokningen och återfanns i vätskan, som analyserades enligt svensk standard (SIS, 1997). För att undersöka i vilken form fosfor förekommer, använde jag mig av sekventiell fraktionering. Där använder man olika kemikalier för att lösa ut de olika formerna av organisk och oorganisk fosfor (Reddy *m. fl.*, 1999). Man börjar med ett svagt salt, som löser ut den biotillgängliga fosfor, och sedan tillsätter man olika kemikalier med olika pH i tur och ordning, tills alla former av fosfor har lösts ut.

## Resultat och diskussion

I området vid inloppet hade upp till 70 cm sediment ansamlats i vissa delar (Tab.1). Detta visar att de inkommande partiklarna till största delen sedimenterar direkt när vattnet rinner in i våtmarken, och den största andelen hamnar därmed i nära anslutning till inloppet. I denna del var det sedimenterade materialet ungefär fyra gånger tjockare än i övriga delar (Tab.1), och fosforhalten i sedimentet var högre än i de övriga områdena (Fig.1), vilket tyder på att fosforrikt material inkommer till våtmarken. Den totala fosformängden i sedimentet vid inloppet var 110 kg. Enligt beräkningar har våtmarken belastats med totalt 123 kg fosfor från dräneringsröret (Tab.2). Ca 90 % av inkommande fosfor har alltså ackumulerats vid inloppet till våtmarken. Retentionen enligt massflödena in och ut uppgick dock bara till 25 kg fosfor. Detta skulle kunna bero på att de inkommande mängderna är underskattade. Provhämtaren sitter inuti dräneringsröret, och ”insuget” är placerat ungefär i mitten av röret. Kommer det tunga partiklar med vattnet kanske de hinner sedimentera redan inne röret, innan vattnet når våtmarken, och eftersom provhämtdaren är placerad i mitten kanske den missar de allra största partiklarna. Detta skulle innebära att det vatten man får upp inte är representativt för inkommande vatten. Enbart provtagningsfel kan dock inte förklara den stora skillnaden mellan beräknad och uppmätt mängd fosfor i sedimenten. En annan möjlighet är att en del av den uppmätta fosfor i sedimentet har sitt ursprung från den underliggande leran (se fortsatt diskussion nedan).

**Tabell 1.** Area av de olika områdena, medeltjocklek, volym, densitet och  $P_{tot}$  i sedimentet i våtmarken i Södra Stene. IN = området nära inloppet, OUT = området nära utloppet T1 = grunt område med vegetation nära inloppet, T2 = grunt område med vegetation nära utloppet, Ts = grunt område med vegetation i anslutning till ett dräneringsrör med avloppsvatten.

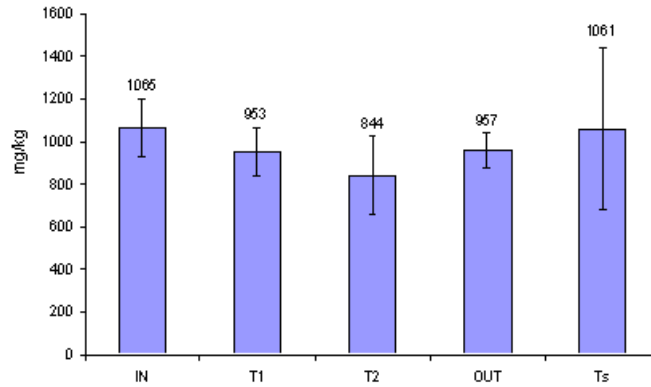
	Average sediment				
	Area (m <sup>2</sup> )	thickness (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Density (kg m <sup>-3</sup> )	$P_{tot}$ (kg)
IN	1150	0.16	187	550	110
OUT	4350	0.02	131	751	50
T1	4225	0.05	190	784	142
T2	4250	0.04	152	1036	133
Ts	3875	0.04	163	777	134
Total	17850				569

**Tabell 2.** Beräknad mängd inkommande, utgående och kvarhållen fosfor i våtmarken i Södra Stene under de fyra år den varit i drift.

Year	P in (kg)	P out (kg)	Retention (kg)	Retention (kg ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	Retention (%)
1	13	10	3	1	21
2	16	13	3	1	17
3	67	54	13	6	19
4	28	21	7	3	25
<b>Accumulated</b>	123	98	25	3	21

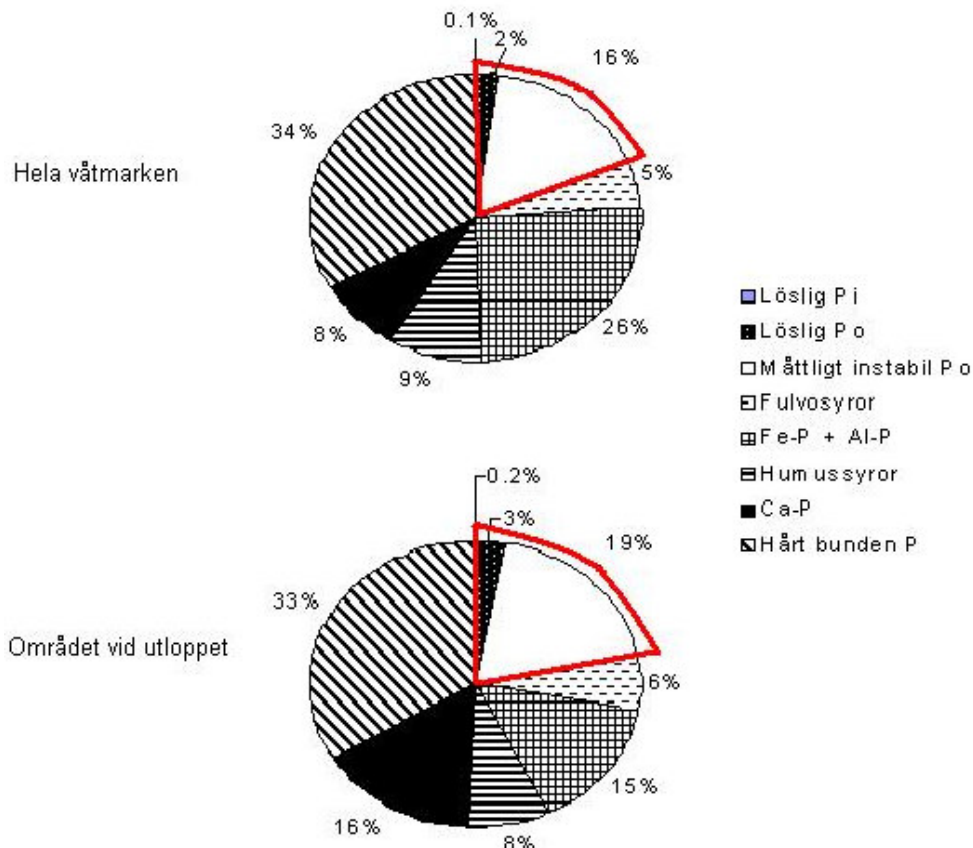
De områden som visade den högsta  $P_{tot}$ -halten i sedimentet var området nära inloppet och området där avloppsröret mynnar (Fig.1). Anledningen till den högre halten i inloppet diskuteras ovan, och den högre  $P_{tot}$ -halten i området i anslutning till avloppsröret förklaras av att 14 % av den inkommande fosfor kommer från avloppsvattnet<sup>1</sup>. I detta vatten förekommer fosfor till största delen som löst fosfat (88 %, Karlsson, 2005), som antagligen reagerar med oorganiska och organiska föreningar så fort den kommer in i våtmarken. Efter några år borde dock översta delen av  $T_s$ -sedimentet bli mättad på fosfor, och risken finns att fosfor rinner vidare till den djupare dammen vid utloppet. Vid högre flöden skulle det kunna ske en intern uppvirvling av fosfor i den öppna delen av våtmarken vid utloppet. I denna del var det mycket svårt att urskilja någon tydlig gräns mellan ackumulerat nytt sediment och underliggande lera, vilket tyder på att så var fallet. Det är antagligen framför allt partikulär fosfor som virvlas upp, och eftersom det inte finns någon växtlighet i den öppna delen vid utloppet finns det inget ”filter” som hindrar fosfors väg ut ur våtmarken. Sedimentanalyserna visade att utloppet har en något större andel lättillgänglig fosfor (Fig.2). Vid en eventuell uppvirvling av sedimentet finns det alltså risk att det är relativt lättillgänglig fosfor som lämnar våtmarken och förs ut till den närliggande sjön.

<sup>1</sup>personlig kommentar, Jonas Andersson, WRS Uppsala



**Figur 1.**  $P_{tot}$  medelvärden och standardavvikelse, i de olika områdena i våtmarken i Södra Stene. IN = området nära inloppet, T1 = grunt område med vegetation nära inloppet, T2 = grunt område med vegetation nära utloppet, OUT = området nära utloppet, Ts = grunt område med vegetation i anslutning till ett dräneringsrör med avloppsvatten. Det var ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan de olika områdena ( $p > 0.05$ ).

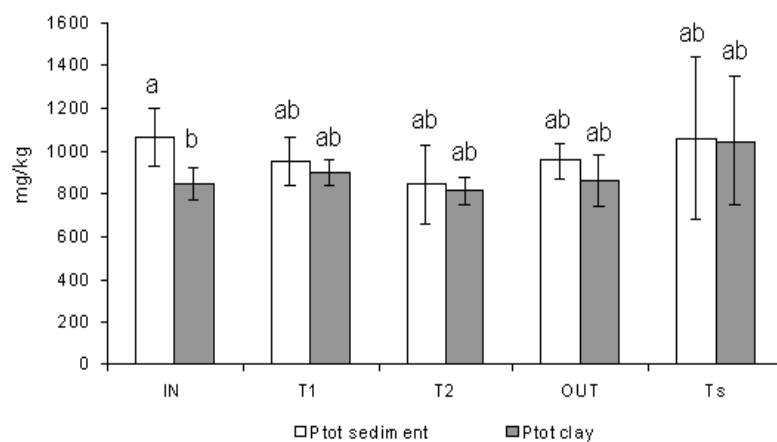
Stabila fraktioner (hårt bunden P, kalciumbunden P och humussyror) utgjorde 51 % av fosfor i sedimentet (Fig.2). Direkttillgänglig fosfor, alltså P som växter och mikroorganismer kan ta upp utan att den först behöver konverteras, utgjorde endast 2.1 % av den totala mängden fosfor i sedimentet. Vad gäller fraktionen *måttligt instabil P<sub>o</sub>* (16 %) är det svårt att uttala sig om stabiliteten. Den är inte direkttillgänglig, men kan inte heller ses som en stabil, långsiktig fosforfälla (Yang *m. fl.*, 2006). En fjärdedel av sedimentfosfor var bundet till järn eller aluminium. Fe-P-fraktionen är stabil endast i syresatt miljö, och skulle det bli syrebrist finns det risk att denna fosfor lossnar från sedimentet och förs ut från våtmarken (Diaz *m. fl.*, 2006). Under vintern 2005-2006 registrerades stora fosforförluster från våtmarken, vilket sammanföll med en stark lukt av svavelväte, som indikerar syrebrist (Andersson & Eriksson, 2006). Vid detta tillfälle kan det alltså ha varit fosfor som frigjorts från järn som läckte ut från våtmarken. Med den analysmetod jag använde mig av fanns det inget sätt att se fördelningen av Fe-P: Al-P i denna fraktion.



**Figur 2.** Fördelningen av fosfor i sedimentet i hela våtmarken i Södra Stene samt för utloppet. Den potentiellt biotillgängliga fosfor är markerad i figuren.

Det var endast liten skillnad mellan  $P_{tot}$ -mängden i det nyackumulerade sedimentet och den underliggande leran (Fig.3). Inloppet hade mer fosfor i sedimentet jämfört med den underliggande leran ( $p < 0.05$ ), vilket antagligen beror på att den största delen av den inkommande fosfor i sedimentet ackumulerades direkt vid inloppet (den ackumulerade fosfor i inloppet representerade 89 % av den totala fosforbelastningen under våtmarkens fyra år). För området i anslutning till utloppet var det i vissa fall svårt att skilja den underliggande leran från det nyligen ackumulerade sedimentet. För två av provpunkterna är det antagligen lera som analyserats som sediment, och i figuren ingår dessa värden i värdet för lerhalten.

Den totala fosforbelastningen under fyra års tid var enligt beräkningar 123 kg, men den totala fosformängden i det nyackumulerade sedimentet var nästan fem gånger så hög (Tab.1 och 2). Detta skulle kunna bero på en *intern* omfördelning av fosfor, där vegetationen, till största delen kaveldun, tar upp fosfor från den underliggande leran. I de områden som domineras av växtlighet var det mindre skillnad mellan sediment- och lerhalten (område T1, T2 och Ts i figur 3), vilket tyder på att det sker en omfördelning av den fosfor som finns i leran i och med växternas upptag av fosfor. Denna fosfor omlagras i växterna, och när de vissnar på hösten tillförs organiskt bundet fosfor till sedimentet och kan också frisläppas till vattnet när växterna bryts ner (Richardson, 1985).



**Figure 3.**  $P_{tot}$  (medelvärde  $\pm$  SE) i det nyligen ackumulerade sedimentet och den underliggande leran i våtmarken i Södra Stene. Staplar markerade med "a" är statistiskt skilda från staplar markerade med "b" ( $p < 0.05$ ). IN = området nära inloppet, T1 = grunt område med vegetation nära inloppet, T2 = grunt område med vegetation nära utloppet, OUT = området nära utloppet, Ts = grunt område med vegetation i anslutning till ett dräneringsrör med avloppsvatten.

### Slutsatser

- Eftersom mängden fosfor som återfinns nära inloppet motsvarar ca 90 % av inkommande fosfor, kan man anta att den fosfor som lämnar våtmarken inte är samma fosfor som kommer in i den. En del kan också bero på problem att mäta alla partiklar vid inloppet. En källa till utgående fosfor skulle kunna vara att sedimentet nära avloppsmyningen blir mättat med fosfor, som rinner vidare ner till den djupare dammen vid utloppet. Vid höga flöden kan det ske en uppvirvling av sedimentet i denna del, vilket innebär att fosfor lämnar våtmarken.
- I denna specifika våtmark kan övervattensvegetationen anses vara placerad på "fel" ställe. Ett vegetationsfilter vid utloppet skulle kunna bidra till att förhindra att partikulär fosfor lämnar våtmarken vid höga flöden. Vegetationen spelar dessutom en viktig roll genom att den förhindrar uppvirvling av partiklar.
- Den totala fosforbelastningen under fyra års tid beräknades till 123 kg, men den totala fosformängden i det nyackumulerade sedimentet var nästan fem gånger så hög. Den fosfor som ligger i områden med mycket vegetation härrör troligen huvudsakligen från den underliggande leran, dvs en *intern* omfördelning av fosfor till organiskt bunden. En del av denna fosfor kan tillföras sedimentet eller vattenpelaren när växterna vissnar ned på höstarna, och kan därmed bidra till den fosfor som lämnar våtmarken.
- Den största delen fosfor i sedimentet var starkt bunden till kalcium, humussyror eller oorganiska och organiska komplex. Dock finns en betydande del som är mindre stabil och en del som endast är stabil under syresatta förhållanden.
- Våtmarken är en fosforfälla, och har en positiv retention mesta delen av tiden. Eftersom den primära retentionsmekanismen är sedimentation krävs det dock någon form av skötsel för att den

ska fortsätta fungera som fosforfälla. Det kan exempelvis innebära en utgrävning av det fosforrika sedimentet. En annan åtgärd för att ta bort fosfor från våtmarken är att skörda växtligheten och därmed föra bort den näring som är bunden i biomassan. Gottschall m fl. (2007) visade att kaveldun, som är den dominerande växten i våtmarken, hade en lagringskapacitet på 46-120 kg P per hektar och år. I våtmarken i Södra Stene täcker vegetation ungefär hälften av ytan, vilket innebär ca en hektar. Teoretiskt sett kan alltså den totala mängd som finns bunden i biomassan under vegetationsperioden motsvara den totala årliga belastningen. Mer än hälften av näringen lagras dock i rotsystemen, vilka är svåra att skörda (Reddy & Debusk, 1987), men en skörd av vegetationen skulle ändå kunna bidra till minskade fosforhalter i och minskade fosforförluster från våtmarken.

- Slutligen – är analyser av ackumulerat sediment en möjlig metod att mäta reningsresultat i en våtmark? Om man mäter fosforhalten i det ackumulerade sedimentet, kan man få en uppskattning av fosforbelastningen och avskiljningen? Svaret är både ”ja” och ”nej”. I våtmarker med en tydlig sedimentationsdel kan sedimentproppar fungera bra. Ett alternativ är att använda sig av sedimentplattor (Hauge, 2007). Dessa placeras i våtmarken, och inkommande partiklar sedimenterar på plattan. Vid analys av detta sediment kan man vara säker på att det endast består av material från inkommande vatten, och ingen internt tillförd eller omfördelad fosfor. I områden med mycket vegetation blir det svårare – där kan vegetationen ta upp fosfor från underliggande jord och från vattnet. Mycket av fosfor i det nybildade organiska skiktet har då sitt ursprung från den underliggande marken, och mätningar av mängden fosfor i detta sediment ger felaktig uppfattning om hur stor retentionen av inkommande fosfor har varit.

## Referenser

Andersson J & Eriksson S (2006) Nyhetsbrev nr 1 2006: Projekt ”Våtmarker i odlingslandskapet”. WRS Uppsala and HS Konsult. [www.swedenviro.se/pdf/Nyhetsbrev12006.pdf](http://www.swedenviro.se/pdf/Nyhetsbrev12006.pdf)

Andersson J, Wedding B & Tonderski K (2006) Näringsavskiljning i anlagda våtmarker – region och metodjämförelser. WRS Uppsala och Ekologgruppen. [www.swedenviro.se/lantbruk/documents/Rapportavskiljningokt2006.pdf](http://www.swedenviro.se/lantbruk/documents/Rapportavskiljningokt2006.pdf)

Braskerud BC, Tonderski KS, Wedding B, Bakke R, Blankenberg AGB, Ulén B & Koskiaho J (2005) Can constructed wetlands reduce the diffuse phosphorus loads to eutrophic water in cold temperate regions? *Journal of Environmental Quality* 34: 2145-2155.

Diaz OA, Daroub SH, Stuck JD, Clark MW, Lang TA & Reddy KR (2006) Sediment inventory and phosphorus fractions for water conservation area canals in the Everglades. *Soil Science Society of America Journal* 70: 863-871.

Dunne EJ, Culleton N, O'Donovan G, Harrington R & Daly K (2005) Phosphorus retention and sorption by constructed wetland soils in Southeast Ireland. *Water Research* 39: 4355-4362.

Gottschall N, Boutin C, Crolla A, Kinsley C & Champagne (2007) The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada. *Ecological Engineering* 29: 154-163

Hauge A (2007) Fangdamsedimenter på Østlandet. Bioforsk Rapport vol.2, nr.8.

Kalff J (2002) *Limnology – inland water ecosystems*. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, NJ.

Karlsson M (2005) Näringsbelastning på en anlagd våtmark från åker, skog och enskilda avlopp. SLU, Seminarier och examensarbeten Nr. 50. Uppsala.

Reddy KR & Debusk WF (1987) Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants. I Reddy KR & Smith WH (eds.) *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*. Magnolia Publishing Inc., Orlando, Florida.

Reddy KR, Kadlec RH, Flaig E & Gale PM (1999) Phosphorus retention in streams and wetlands: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 29: 83-146.

Richardson CJ (1985) Mechanisms controlling phosphorus retention capacity in freshwater wetlands. *Science, New Series*, Vol. 228, No. 4706: 1424-1427.

SIS (1997) Svensk standard SS-EN 1189. Standardiseringen i Sverige.

Yang C, Yang L & Jianhua L (2006) Organic phosphorus fractions in organically amended paddy soils in continuously and intermittently flooded conditions. *Journal of Environmental Quality* 35: 1142-1150.