

农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放的研究进展

蒋静艳s 黄 耀

(南京农业大学资源与环境科学学院s 江苏 南京 yuaxZB)

摘 要 H 根据近几年国内外文献资料,综合分析介绍了农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放的进展情况.提出农业土壤中 $\vartheta_y\phi$ 的产生是在微生物的参与下,通过硝化和反硝化作用完成.影响 $\vartheta_y\phi$ 产生与排放的主要因素包括土壤特性(理化性质和水土条件)、气候条件(温度、降水、光照)和农业技术措施(肥水管理、作物类型).深入研究农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放与这些因素间的数量关系,客观估计区域或全球农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 的排放总量并提出切实可行的减排措施乃是未来的研究方向.

关键词 H 农业土壤; $\vartheta_y\phi$ 排放; 影响因子; 研究进展; 全球变化

中图分类号 $HsxBx$ **文献标识码** HE **文章编号** $H\tau\alpha\alpha v-\omega y\Gamma\Delta\vartheta y\alpha\alpha x\mu\alpha x-\alpha\alpha Bx-\alpha\alpha$

$E\rho^0\xi^2\pi\sigma\chi^2\rho\sigma^1\sigma\xi^6\pi\varphi^3\tau\vartheta_y\phi\Sigma^1\chi^1\chi^3_2\tau^631E\nu^6\chi\tau^{90896}\xi^0s^3\chi^0_7$
 $\Psi\Xi\vartheta\Upsilon\Psi^2\nu\mu\xi^2s\Phi\beta\Xi\vartheta\Upsilon\xi\xi^3$
 $o\Pi^{300}\sigma\nu\sigma^3\tau\rho\sigma^1396\pi\sigma^1\xi^2\rho\Sigma^2\chi^3_21\sigma^28\xi^0s\pi\chi\sigma^2\pi\sigma^1s\vartheta\xi^2\varphi\chi^2\nu E\nu^6\chi\tau^{90896}\xi^0\beta^2\chi^0\sigma^67\chi^3s$
 $\vartheta\xi^2\varphi\chi^2\nu s\Psi\xi^2\nu^{79}yuaxZB\Pi\varphi\chi^2\xi\rho$
 $Eo^{786}\xi^6\pi^8H\vartheta\chi^6\chi^7\chi^8\chi^3_2\xi^2\rho\rho\sigma^2\chi^6\chi^7\chi^8\chi^3_2463\pi\sigma^17\sigma^13\tau^1\chi\tau^6336\nu\xi^2\chi^17\pi^3286\chi^098\sigma^83\vartheta_y\phi463\rho^9\pi^8\chi^2_2\chi^2s\varphi\sigma\xi\nu^6\chi\tau^{90-}$
 $896\xi^073\chi^0_7u\Omega\sigma^3\tau\xi^6\pi^8367\chi^2\tau^09\sigma^2\pi\chi^2\nu^8\varphi\sigma^463\rho^9\pi^8\chi^2_2\xi^2\rho\sigma^1\chi^1\chi^3_23\tau\vartheta_y\phi\xi^6\sigma H^13\chi\pi\varphi\xi^6\xi^6\pi^8\sigma^67\chi^2\pi^09\rho\chi^2\nu^4\varphi^37\chi\tau^3-$
 $\pi\varphi\sigma^1\chi\tau^6\sigma^4634\sigma^6\sigma^7\tau^1\xi^2\rho^8\varphi\sigma^61\xi^0-1\xi^8\sigma^6\pi^32\rho\chi^8\chi^3_27s\pi\chi^1\xi^8\sigma\chi^2\pi^09\rho\chi^2\nu^8\sigma^14\sigma^6\xi^896\sigma^546\sigma\pi\chi^1\chi^8\chi^3_2\xi^2\rho730\xi^66\xi\rho\xi^5-$
 $8\chi^2_2s\xi^2\rho\xi\nu^6\chi\tau^{90896}\xi^01\xi^2\xi\nu\sigma^1\sigma^2879\pi\varphi\xi^1\tau\sigma^68\chi\chi^8\chi^3_2\xi^2\rho\pi^0344\chi^2\nu7378\sigma^1uX\chi^16\sigma\pi^311\sigma^2\rho\sigma\rho^8\varphi\xi^8\tau^968\varphi\sigma^6789\rho^3$
 $o\sigma\tau^3\pi^977\sigma\rho^3259\xi^28\chi^8\xi^8\sigma\rho\sigma^1\pi^0\chi^18\chi^3_2o\sigma^1\sigma\sigma^2\vartheta_y\phi\sigma^1\chi^1\chi^3_27\xi^2\rho^8\varphi\sigma^1\sigma\omega\sigma^3\tau\xi^6\pi^8367s\sigma^18\chi^1\xi^8\chi^2_23\tau^6\sigma\nu\chi^3_2\xi^0\xi^2\rho\nu36$
 $\nu^03o\xi^0\xi^13928s\xi^2\rho\rho\sigma^0\sigma^341\sigma^283\tau^6\sigma\rho^9\pi\chi^2\nu\vartheta_y\phi\sigma^1\chi^1\chi^3_27\tau^631\xi\nu^6\chi\tau^{90896}\xi^073\chi^0_7\chi^28\varphi\sigma\tau^9896\sigma u$
 $\Omega\sigma^136\rho^7H\xi^6\nu^6\chi\tau^{90896}\xi^073\chi^0_7\Theta\vartheta_y\phi\sigma^1\chi^1\chi^3_27\Theta\chi^14\xi^6\tau\xi^6\pi^8367\Theta\xi\rho^0\xi^2\pi\sigma\chi^26\sigma^1\sigma\xi^6\pi\varphi\Theta\nu^03o\xi^0\pi\varphi\xi^2\nu\sigma$

气候变暖是当今全球性的环境问题,其主要原因是大气中温室气体浓度的不断增加.除二氧化碳($\Pi\phi_y$)和甲烷($\Pi\Phi_A$)外,氧化亚氮($\vartheta_y\phi$)被认为是最重要的温室气体之一。 $\rho^3\rho\varphi\sigma$ 的研究指出 $x^{130}\vartheta_y\phi$ 的增温效应是 $\Pi\phi_y$ 的 $x^{Bx-y\alpha\omega}$ 倍^[1]。此外, $\vartheta_y\phi$ 在大气中具有较长的滞留时间并参与大气中许多光化学反应,破坏大气 ϕ_z 层^[2]。观测结果表明,大气中 $\vartheta_y\phi$ 的浓度正以 $\omega\omega B\%$ 的年增长率上升,其中热带土壤和农业土壤是全球最主要的 $\vartheta_y\phi$ 释放源,其贡献达 $\Delta x^0\%-Z\omega^0\%$ ^[3]。影响农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放的主要因素包括土壤特性、气候条件和农业技术措施等。

x 土壤中 $\vartheta_y\phi$ 产生的机理

土壤中 $\vartheta_y\phi$ 的产生主要是在微生物的参与下,

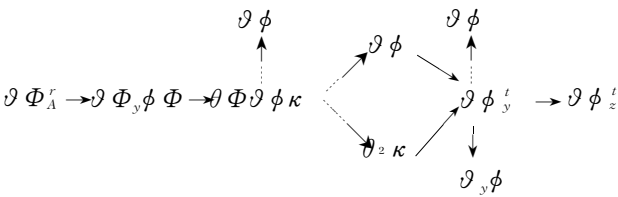
收稿日期:yuav—wA—yΓ

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目资助T.xZZZxw.xBxBy

作者简介:蒋静艳xZZy—p,女,南京农业大学资源与环境科学学院
硕士研究生。

通过硝化和反硝化作用完成。参照 $T\chi^6\sigma^1832\sigma\xi^2\rho P\xi^0\chi\sigma^132$ 的工作,^[4]等给出硝化和反硝化作用的一般过程如下^[5]:

硝化过程:



反硝化过程: $\vartheta_y\leftarrow\vartheta_y\phi\leftarrow\vartheta\phi\leftarrow\vartheta\phi_y^t\leftarrow\vartheta\phi_z^t$

一般说来,硝化作用分两步进行,首先由铵氧化成 $\vartheta\phi_y^t$,然后 $\vartheta\phi_y^t$ 再氧化成 $\vartheta\phi_z^t$,期间生成 $\vartheta_y\phi$ 。上述反应中,虚线和方括号表示对该过程不甚完全了解。 $\vartheta\phi$ 作为反硝化中间产物曾有所争议,但 $\vartheta_y\phi$ 作为中间产物则是肯定的,而且在某些条件下 $\vartheta_y\phi$ 释放量很大。

y 影响 CH_4 排放的因素

yw 土壤

yw w 土壤底物与产物的浓度

对于硝化作用来说,底物和产物浓度高均抑制作用菌的生长,高浓度 NH_4^+ 既抑制亚硝酸菌,也抑制硝酸菌,后者更敏感。而 NO_3^- 的氧化往往比由矿化作用产生的 NO_3^- 的速率快得多,如果此时 CH_4 的供应受到限制, CH_4 不能被彻底氧化成 CO_2 ,就会导致 CH_4 生成量的增加。反硝化过程是酶促反应,故与底物浓度 NO_3^- 含量呈正相关。但反硝化作用中,产物 CH_4 与 NO_3^- 之比受以下因素的影响: CH_4 或 NO_3^- 浓度增加, $\text{CH}_4/\text{NO}_3^-$ 比例上升; CH_4 浓度增加,该比例也增长;可利用碳源增加时,比例会下降。

yw y 理化特性

土壤通气状况由水分含量、 CH_4 在土壤中扩散的难易程度以及微生物和根系对 CH_4 消耗的多寡所决定。对反硝化过程而言,其速率与 CH_4 量成反相关。 $\text{CH}_4/\text{NO}_3^-$ 等指出明显的反硝化作用发生在 NO_3^- 为 $200\sim 1000\text{ mg kg}^{-1}$ 之间,氧化势在 200 mV 以下则不对 CH_4 与 NO_3^- 之比发生影响^[16]。但对于硝化过程而言,现只知道有氧时其最终产物是 NO_3^- ,但绝对厌氧条件下能否硝化完全尚存争议。衣纯真等发现在温度、湿度相同的条件下,通气状况强烈影响土壤反硝化作用的进行,嫌气条件下反硝化作用强于好气状况^[17]。

土壤质地影响土壤通透性和水分含量,因而影响硝化和反硝化作用的相对强弱及 CH_4 在土壤中的扩散速率。土壤质地还影响土壤有机碳的分解速率,进而影响产 CH_4 微生物的基质供应。徐华等的试验表明,土壤质地明显影响小麦和棉花田 CH_4 的排放量,壤质土壤排放的 CH_4 高于砂质和粘质土壤^[18]。

土壤 pH 对 CH_4 净排放的影响十分复杂,不同研究者在不同土壤上对此进行研究的结果不尽一致。一般认为,反硝化作用菌最适宜的 pH 值一般与异养菌相似,为 $6\sim 8$,活动范围内为 $5\sim 9$ ^[19]。观察结果表明,当土壤 pH 降低时,反硝化作用产生的 CH_4 的比例增大。 P^{H} 和 pH 监测到当土壤 pH 为中性时 CH_4 是反硝化主要产物,当 pH 降低时则有利于 CH_4 的释放^[20]。因此 CH_4 常表现为酸性土中反硝化的主要产物, $\text{CH}_4/\text{NO}_3^-$ 比例随 pH 下降而上升。而对于硝化作用来说,在 $5\sim 8$ 数值范围内与土壤的 pH 值呈正相关^[21]。

yw w 水热条件

实验室研究和大田观测结果表明,在气候干燥而土壤含水量较低的情况下, CH_4 的产生主要来自于硝化过程;降雨后土壤含水量较高时, CH_4 主要通过反硝化过程产生;而在农田中等含水量情况下,土壤微生物的硝化和反硝化作用产生的 CH_4 大约各占一半^[22]。在土壤水分含量小于 $10\% \sim 20\%$ 时,土壤中 CH_4 的排放量随土壤含水量的增加而呈线性增加。当土壤含水量大于 $10\% \sim 20\%$ 时, CH_4 的排放量随土壤含水量的增加以指数形式减少^[23]。

土壤温度影响微生物的活性强度,也就极强地影响硝化反硝化速率。在适宜的水分条件下和一定温度范围内, CH_4 排放量随土壤温度的上升而增加。 P^{H} 和 P^{H} 的研究发现,在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内反硝化量的平方根与温度呈直线关系^[24]。在旱地土壤条件下,温度是影响 CH_4 排放季节变化的关键因子,而在水田阶段则不然。但水田和旱地具有相同的日变化形式,只是后者达到极大值的时间比前者延迟 $2\sim 3$ 天^[25]。

yw y 气候因子

气温的季节性变化确定了土壤温度的季节性变化,因而影响农业土壤 CH_4 的排放。在田间情况下, CH_4 排放的日变化和季节变化可部分地通过气温的变化来解释。在稻麦轮作周期内,显著 CH_4 排放发生的频率随气温的变化呈正态分布,70%的排放量都集中在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内^[26]。降水能改变农业土壤水分状态,雨水中溶解氧还可提高土壤氧化还原电位,改变 CH_4 供给状况,从而影响 CH_4 的排放。郑循华等的大田观测表明,春季和秋季麦田 CH_4 的排放与降雨量呈明显正相关,但水稻田和冬季麦田的 CH_4 不受降雨影响^[27]。 P^{H} 等也证实草地 CH_4 的排放与降雨量密切相关^[28]。除温度和降水条件外,光照强度也影响 CH_4 的排放。可能的原因是光照强度的变化使得植物体内的代谢过程发生变化并影响植物气孔的传导性。在强光照下,植株排放 CH_4 通量较低,弱光条件下则反之^[29]。

yw w 农业管理措施

yw w w 施肥效应

氮素供应 氮肥施用对农业土壤 CH_4 的排放具有明显的促进作用^[30],化肥氮转化为 CH_4 的比例多在 $10\% \sim 20\%$ 左右,其转化率受环境因素和其它管理措施的影响^[31]。李楠等的研究指出,小麦田释放 CH_4 的速率不完全取决于土壤的含氮水平,而

与植物对 ϑ 素的利用率有关, 过量施肥导致 $\vartheta_y\phi$ 排放速率增加 $\theta_{x\Gamma\kappa}$ 。此外, 含氮量相同的有机肥比无机肥对反硝化的促进作用更明显。郑循华等对烤田期稻田 $\vartheta_y\phi$ 排放的观测表明, 堆肥加尿素处理田块的 $\vartheta_y\phi$ 排放量比 $\vartheta\Phi_A\Phi\Pi\phi_z$ 处理田块少 $zw\%$ 左右 $\theta_{z\kappa}$, 而邢光熹等却发现猪粪加尿素处理比含同样氮的尿素处理 $\vartheta_y\phi$ 排放量多 $\Gamma x\%$ $\theta_{x\Delta\kappa}$ 。

碳素供应 研究表明, 土壤中反硝化作用与土壤有效碳含量密切相关, 而与总碳量无关, 往土壤中加入有机质, 如植物秸秆或厩肥, 可大大增加反硝化强度 $\theta_{\Delta\kappa}$ 。有机物料的 $\Pi v\vartheta$ 比也影响硝化作用和 $\vartheta_y\phi v\vartheta_y$ 的比率。有人认为有机碳的加入使供氧不足, 减弱自养硝化作用, 最终影响 $\vartheta_y\phi$ 的产生与排放。另外, 有报道认为作物秸秆腐解能产生化感物质, 可明显抑制土壤 $\vartheta_y\phi$ 的释放 $\theta_{x\Delta\kappa}$ 。

$y u \kappa u y$ 水分管理

旱地土壤的间歇灌溉促进反硝化过程的进行, 因而增加 $\vartheta_y\phi$ 的产生与排放。在淹水条件下, 大田的短期落干促进硝化反应的进行, 同样增加 $\vartheta_y\phi$ 的产生与排放。许多大田结果表明, 灌溉水稻栽培的烤田过程可抑制 $\Pi\Phi_A$ 的产生, 但同时却促进了 $\vartheta_y\phi$ 的排放 $\theta_{\Delta z z\Delta\kappa}$ 。

$y u \kappa u \omega$ 作物类型

不同作物排放 $\vartheta_y\phi$ 的特点不尽相同。 $\epsilon_{3\Gamma\chi\sigma^6}$ 等指出水稻植株是传输稻田 $\vartheta_y\phi$ 和 ϑ_y 的主要通道 $\theta_{y\kappa\kappa}$ 。 $P_3 o o\chi\sigma$ 等人却发现花椰菜和马铃薯有相似的 $\vartheta_y\phi$ 排放规律 $\theta_{x\Delta\kappa}$ 。许多学者还对其它作物类型(大豆、玉米和春小麦等) 排放 $\vartheta_y\phi$ 的规律进行了有益的探索, 并获得了一些结果 $\theta_{y\kappa\kappa}$ 。

$y u \kappa u \Delta$ 其它田间管理措施

在稻田的水面, 土壤的表面和土壤中施用硝化抑制剂可明显抑制 $\vartheta_y\phi$ 的排放 $\theta_{y\kappa\kappa}$ 。其它栽培措施如种植方式、耕翻、除草等都对农田 $\vartheta_y\phi$ 的排放有影响。耕翻会引起土壤 $\vartheta_y\phi$ 剧烈脉冲释放 $\theta_{y\kappa\kappa}$ 。

z 农田 $\vartheta_y\phi$ 排放总量的估算

农田 $\vartheta_y\phi$ 排放总量的估算一直是国内外普遍关注的议题。黄国宏等应用封闭箱法测定了大豆、玉米、春小麦农田生态系统 $\vartheta_y\phi$ 的排放通量, 并推算出东北地区大豆田、玉米田和春小麦田的 $\vartheta_y\phi$ 排放总量分别为 $B u E T v \vartheta_y\phi - \vartheta$, $y \Gamma u \chi T v \vartheta_y\phi - \vartheta$ 和 $x u w y T v \vartheta_y\phi - \vartheta (x x y \rho)^{\theta_{y\kappa\kappa}}$ 。邢光熹等的大田观测指出我国北方旱地 $\vartheta_y\phi$ 排放通量为 $z w u \Gamma \mu v \vartheta_y\phi - \vartheta_{1-\Gamma y}$ 。

φ^{-x} , 南方地区水稻田 $\vartheta_y\phi$ 排放通量为 $z \Delta u B \mu v \vartheta_y\phi - \vartheta_{1-\Gamma y} \cdot \varphi^{-x\theta_{x\Delta\kappa}}$ 。 $\partial \chi$ 等以影响土壤反硝化及土壤有机 Π 分解的土壤条件(理化特性、温度、湿度、有机 Π 含量等)、气候条件(气温、降水)、土地利用(作物类型、播种期、收获期) 及农业活动(种植制度、耕作方式、肥水管理等) 为驱动变量, 建立了农业土壤痕量气体($\vartheta_y\phi$ 、 $\Pi\phi_y$ 、 ϑ_y) 的排放模型($P\vartheta P\Pi$ 模型), 以估算土-气间痕量气体的排放 $\theta_{y\Delta}$ 、 $y B \kappa$ 。 $\phi \xi^{6832}$ 等根据实验室研究结果, 建立了农业土壤的硝化反硝化模型, 以研究土壤条件对 $\vartheta_y\phi$ 排放的影响 $\theta_{z\kappa}$ 。

A 研究展望

综上所述, 农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 产生与排放是一个极其复杂的过程, 这些过程受环境条件及农业管理措施的影响。深入研究农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放与这些因素间的数量关系, 客观估计区域或全球农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 的排放总量并提出切实可行的减排措施乃是未来的研究主题。这些研究包括 x) 农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 产生与排放的机理研究。研究农田微生物、农田碳氮源(土壤碳氮+外源碳氮)、土壤环境及农业技术措施对 $\vartheta_y\phi$ 产生与排放过程的综合影响; y) 建立受土壤、气候及农业技术措施综合影响的农田生态系统 $\vartheta_y\phi$ 排放模型, 以估计农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 的排放总量及时空分布; z) 基于上述研究, 提出减少农业土壤 $\vartheta_y\phi$ 排放的措施。

参考文献:

- $\theta_{x\kappa} \rho_{\varphi\sigma} \Phi u \Xi \pi_{\vartheta} 1_4 \xi^0 \chi^3 32 3 \tau s \varphi \sigma \pi_{286} \chi^0 98 \chi^2 3 \tau s \xi^0 \chi^3 97 v \xi^{\circ} \sigma^{\circ} 83 s \varphi \sigma v^0 \sigma \sigma^2 \varphi_{89} \sigma^{\circ} \sigma \sigma \sigma \sigma \theta \Psi \chi u s \pi \chi \sigma^2 \pi s x Z Z Z s y A E H r y x \Delta - x y x Z u$
- $\theta_{y\kappa} P o v \xi \rho_{\varphi} \Psi \Xi \xi^2 \rho_{\epsilon_{3\Gamma\chi\sigma^6}} \Xi \varrho u \epsilon \chi \chi \chi^0 \xi^0 \chi^2 \xi^0 \sigma \sigma^2 \xi^0 \chi^0 \sigma^{\circ} 83 \rho \sigma v \sigma \xi^{\circ} \sigma^2 \chi^0 397 32 \chi \rho \sigma^{\circ} \sigma^{\circ} \chi^{\circ} \chi^0 27 \xi^2 \rho_{96} \sigma \xi^{\circ} - 2 \chi^0 3 v \sigma^2 0371 \xi^2 \rho s \varphi \sigma \chi^0 \sigma \sigma \sigma \pi_{32} 1_{\sigma^6} \varphi \xi^2 \sigma^{\circ} \tau_{92} \theta \Psi \chi u \Psi \Sigma^{\circ} \chi^0 32 \chi^0 \xi^0 s x Z Z Z, y B \Gamma p H x x u B - x x x u$
- $\theta_{z\kappa} \phi \xi^{6832} \delta \Psi s_{\epsilon_{3\Gamma\chi\sigma^6}} \Xi \varrho s \phi \chi^1 \xi P s \sigma^{\circ} \xi^0 u \Gamma \sigma^2 \sigma^0 \chi^0 \sigma \rho_{13} \rho \sigma \tau_{36} \vartheta_y \xi^2 \rho \vartheta_y \phi_{163} \rho_{96} \chi^0 2 \tau_{63} 1_2 \chi^0 \chi^0 \chi^0 \chi^0 \xi^2 \xi^2 \rho \sigma^2 \chi^0 \chi^0 \chi^0 \chi^0 \xi^2 \theta \Psi \chi u \Gamma_{\vartheta} \sigma \xi^0 O \chi^0 v \sigma^3 \pi \varphi \sigma^{\circ} \chi^0 \xi^0 \Pi \pi \sigma^{\circ} s x Z Z \tau s x w z p H \chi u x - A x y u$
- $\theta_{A\kappa}$ 陈文新 u 土壤环境微生物学 $\theta_{\epsilon \kappa u}$ 北京 H 北京出版社 $s x Z Z u w z z - x B r u$
- $\theta_{B\kappa}$ 衣纯真 s 梁洪波 s 张建华 s 等 u 温度、湿度及通气状况对土壤中 $\vartheta_y\phi$ 释放量影响的研究 $\vartheta \Xi \kappa u$ 见: 李韵珠 s 陆锦文 s 罗远培 u 土壤水和养分的有效利用 $\vartheta \Pi \kappa u$ 北京: 北京农业出版社, $x Z Z A w y w - x y B u$
- $\theta_{\Gamma \kappa}$ 徐 华 s 邢光熹 s 蔡祖聪 s 等 u 土壤质地对小麦和棉花田 $\vartheta_y\phi$ 排放的影响 $\vartheta \Psi \chi u$ 农业环境保护, $y r a u s x Z \chi$), $x - z u$
- $\theta_{\Delta \kappa} P \xi^{91} 1 P \xi^2 \rho s \pi \varphi \sigma^2 \omega \epsilon \Omega u \chi^0 \tau_{92} \sigma^2 \pi s 3 \tau 2986 \chi \sigma^2 873098 \chi^0 2_4 \Phi 32 \vartheta_y \phi \xi^2 \rho \vartheta_y \sigma^1 \chi^{\circ} \chi^0 27 \tau_{63} 1_1 \xi^{\circ} 73 \chi^0 \sigma^{\circ} 7 \pi_{90896} \sigma^{\circ} 7378 \sigma^1 \theta \Psi \chi u \phi_{\vartheta} \xi^2 8 \xi^2 \rho s^2 \chi^0 s x Z Z E s y \chi u H y \Delta Z - y E \Delta u$
- $\theta_{E \kappa}$ 黄国宏 s 陈冠雄 s 韩 冰 u 土壤含水量与 $\vartheta_y\phi$ 产生途径研究 $\vartheta \Psi \chi u$ 应用生态学报, $x Z Z Z s x \chi(x) : B z - B \Gamma u$

