DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.2011.02.020

广西科学 Guangxi Sciences 2011,18(2):136～139

(h,φ)不变凸多目标半无限规划的对偶性*

Duality of Multiple-objective Semi-Infinite Programming with (h,φ) Invex Function

李向有,张庆祥

LI Xiang-you,ZHANG Qing-xiang

(延安大学数学与计算机学院,陕西延安 716000)

(Institute of Mathematics and Computer Science of Yan'an University,Yan'an,Shanxi,716000,China)

摘要:利用 Ben-Tal 广义代数运算,定义一类 (h,φ) 不变凸函数,在更弱的凸性下,得到此类非光滑 (h,φ) 多目标半无限规划的一些对偶性条件.

关键词:(h,φ) 不变凸函数 半无限规划 多目标 对偶性 广义代数运算

中图法分类号:O221.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-9164(2011)02-0136-04

Abstract:Based on Ben-Tal generalized algebraic operation,a class of (h,φ) invex function was defined,multiple-objective semi-infinite programming involving this kind of function was analyzed,and some important duality conditions were obtained under weker convexity.

Key words:(h,φ) invex function,semi-infinite programming, multiple-objective,duality,generalized algebraic operation

广义 (h,φ) 凸规划是非凸最优化的一个分支,近年来,许多学者在这方面进行了研究,得到了不少有益的成果.如王香柯[1]利用 Ben-Tal 广义代数运算,在非光滑情形下提出若干类广义 (h,φ) 凸函数的概念,得到一类非凸规划的最优性条件.张庆祥[2]利用 Ben-Tal 广义代数运算,提出 (h,φ) 伪凸和 (h,φ) 拟凸函数,并研究非光滑 (h,φ) 半无限规划解的充分性和对偶性.徐义红等[3]利用 Ben-Tal 广义代数运算,研究 (h,φ) 广义凸函数的若干性质,得到 (h,φ) 广义凸多目标规划的最优性和对偶性条件.

本文在上述研究的基础上,利用 Ben-Tal 广义代数运算,定义一类 (h,φ) 不变凸函数,并得到此类非光滑 (h,φ) 多目标半无限规划的对偶性条件.

1 基本定义

Ben-Tal 广义代数运算[4]:

(i)设 h 为 $H\subset R^n$ 上的 n 维向量连续函数,它具有反函数 h^{-1},对于 $x\in H$ 和 $y\in H$,定义 h-向量加法为

$$x\oplus y=h^{-1}[h(x)+h(y)].$$

对于 $x\in H$ 和 $\lambda\in R$,定义 h-数乘为

$$\lambda\otimes x=h^{-1}[\lambda h(x)].$$

(ii)设 φ 是 $\Phi\subset R^n$ 上的连续实值函数,它具有反函数 φ^{-1},则两个数 $\alpha\in\Phi$ 和 $\beta\in\Phi$ 的 φ-加法定义为

$$\alpha[+]\beta=\varphi^{-1}[\varphi(\alpha)+\varphi(\beta)].$$

对于 $\alpha\in\Phi,\lambda\in R,\varphi$-数乘定义为

$$\lambda[\cdot]\alpha=\varphi^{-1}[\lambda\varphi(\alpha)].$$

(iii)对于向量 $x\in H$ 和 $y\in H$,(h,φ)-内积定义为

$$(x^{\mathrm T}y)_{h,\varphi}=\varphi^{-1}[h(x)^{\mathrm T}h(y)],$$ 假定右边有意义.

(iv)h-向量减法,φ-减法由(i),(ii)可知,并且分别表述为

$$x\Theta y=x\oplus((-1)\otimes y)=h^{-1}[h(x)-h(y)],$$

$$\alpha[-]\beta=\alpha[+]((-1)[\cdot]\beta)=\varphi^{-1}[\varphi(\alpha)-\varphi(\beta)].$$

收稿日期:2010-11-19

作者简介:李向有(1976-),男,讲师,硕士,主要从事最优化理论与应用方面的研究。

*陕西省教育厅专项科研基金项目(06JK154),延安大学科研基金项目(YDK2004-196)资助。

我们记

$\mathop{\oplus}\limits_{j=1}^{m} x^j = x^1 \oplus x^2 \oplus \cdots \oplus x^m, x^j \in H \subset R^n, j = 1,2,\cdots,m,$

$[\sum\limits_{j=1}^{m}]\alpha_i = \alpha_1[+]\alpha_2[+]\cdots[+]\alpha_m, \alpha \in \Phi \subset R, i = 1,2,\cdots,m.$

设 $f(x)$ 是 R^n 上的 Lipschitz 函数,对于 $\forall x,d \in R^n$,称

$$f(x;d) = \limsup_{\substack{y\to x,\\ t\downarrow 0}} \frac{1}{t}[\cdot]\{f(y+td)[-]f(y)\}$$

为 $f(x)$ 在 x 处沿方向 d 的广义 (h,φ) 方向导数. 再对同样的 $f(x)$,

$$\partial^* f(x) = \{\xi: f^*(x;d) \geqslant (\xi^{\mathrm{T}} d)_{h,\varphi}, \forall d \in R^n\}$$

,称 $\xi \in \partial^* f(x)$ 为 $f(x)$ 在 x 点的广义 (h,φ) 梯度,$\partial^* f(x)$ 称为 $f(x)$ 在 x 点的广义 (h,φ) 梯度集[1].

定义 1 设 $f:R^n \to R$ 是 Lipschitz 函数,$\eta:R^n \times R^n \to R^n$ 为向量函数,称 f 为 (h,φ) 不变凸的,如果对于 $\forall x^1,x^2 \in R^n, \forall \xi \in \partial^* f(x^2)$,有

$$f(x^1)[-]f(x^2) \geqslant (\xi^{\mathrm{T}}\eta(x^1,x^2))_{h,\varphi}.$$

定义 2 设 $f:R^n \to R$ 是 Lipschitz 函数,$\eta:R^n \times R^n \to R^n$ 为向量函数,称 f 为 (h,φ) 不变伪凸的,如果对于 $\forall x^1,x^2 \in R^n, \forall \xi \in \partial^* f(x^2)$,有

$$f(x^1)[-]f(x^2) < 0 \Rightarrow (\xi^{\mathrm{T}}\eta(x^1,x^2))_{h,\varphi} < 0.$$

等价地有

$$(\xi^{\mathrm{T}}\eta(x^1,x^2))_{h,\varphi} \geqslant 0 \Rightarrow f(x^1)[-]f(x^2) \geqslant 0.$$

定义 3 设 $f:R^n \to R$ 是 Lipschitz 函数,$\eta:R^n \times R^n \to R^n$ 为向量函数,称 f 为 (h,φ) 严格不变伪凸的,如果对于 $\forall x^1,x^2 \in R^n, \forall \xi \in \partial^* f(x^2)$,有

$$f(x^1)[-]f(x^2) \leqslant 0 \Rightarrow (\xi^{\mathrm{T}}\eta(x^1,x^2))_{h,\varphi} < 0.$$

定义 4 设 $f:R^n \to R$ 是 Lipschitz 函数,$\eta:R^n \times R^n \to R^n$ 为向量函数,称 f 为 (h,φ) 不变拟凸的,如果对于 $\forall x^1,x^2 \in R^n, \forall \xi \in \partial^* f(x^2)$,有

$$f(x^1)[-]f(x^2) \leqslant 0 \Rightarrow (\xi^{\mathrm{T}}\eta(x^1,x^2))_{h,\varphi} \leqslant 0.$$

2 对偶性

考虑下列多目标半无限规划问题(VP)

$$\mathrm{Min} f(x) = (f_1(x), f_2(x), \cdots, f_p(x))^{\mathrm{T}}$$

$$\mathrm{s.t}\ g(x,u) \leqslant 0,$$

$$x \in X^0 \subseteq R^n, u \in Y \subset R^m.$$

这里 $f_i(i=1,\cdots,p)$ 为局部 Lipschitz 的实值函数,Y 为无限可数参数集. 记(P)的可行集 $X = \{x \mid g(x,u) \leqslant 0, x \in X^0 \subseteq R^n, u \in Y \subset R^n\}$,$\Delta = \{i \mid g(x,u^i) \leqslant 0, u^i \in Y \subset R^m\}$ 是可数指标集,J_1 是 Δ 的子集,$J_2 = \Delta / J_1$,$\Lambda = \{v_j \mid v_j \geqslant 0, j \in \Delta\}$. 以下假定出现的所有各式均有意义.

设(VP)的混合对偶规划(VD)为

$$\mathrm{Max} f(x)[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot]g_j(x,u^j)e$$

$$\mathrm{s.t}\ 0 \in \mathop{\oplus}_{i=1}^{p} \lambda_i \otimes \partial f_i(x^0) \oplus \mathop{\oplus}_{j\in\Delta} v_j \otimes \partial g(x^0,u^j),$$

$$v_j[\cdot]g(x^0,u^j) \geqslant 0, j \in \Delta, \tag{1}$$

$x \in X^0 \subseteq R^n, u^j \in Y \subset R^m, \lambda_i \geqslant 0, \sum\limits_{i=1}^{p}\lambda_i = 1, v_j \in \Lambda.$ 这里 $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \cdots, f_p(x))^{\mathrm{T}}$,$e$ 为所有元素皆为 1 的 p 维列向量. 若 J_1 为空集,则规划为 Mond-Weir 型对偶,若 J_2 为空集,则规划为 Wolfe 型对偶.

引理 1[3] 设 φ 是 R 上的严格单调函数,$\varphi(0) = 0, h(0) = 0$,对任意 $x,y,w \in R^n$,若 $x \oplus y = 0$,$(x^{\mathrm{T}}w)_{h,\varphi} \leqslant 0$,则 $(y^{\mathrm{T}}w)_{h,\varphi} \geqslant 0$.

引理 2[3] $((\mathop{\oplus}\limits_{i=1}^{p}\lambda_i \otimes x_i)^{\mathrm{T}} y)_{h,\varphi} = [\sum\limits_{i=1}^{p}\lambda_i[\cdot](x_i^{\mathrm{T}} y)_{h,\varphi}$.

定理 1 (弱对偶)设 φ 是 R 上的严格单调递增函数,$f_i(i=1,\cdots,p)$, $g(x,u)$ 分别为 $X^0, X^0 \times Y$ 上的 Lipschitz 的函数,并且 $f_i(i=1,\cdots,p)$ 为 (h,φ) 不变凸函数,$g(x,u^i), j \in \Delta$ 对于 $\forall u^i \in Y$ 关于 x 是 (h,φ) 不变凸函数,如果 $\varphi(0) = 0, h(0) = 0$,则对(VP)和(VD)的任意可行解 $x, w = (y,\lambda,v)$,都有

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(x) \geqslant$$

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y)[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot]g(y,u^j).$$

证明 由(1)式可知,$\exists \lambda_i(i=1,\cdots,p), v_j \in \Lambda(j \in \Delta), \xi_i \in \partial f_i(x^0), \gamma_j \in \partial g(x^0,u^j), j \in \Delta$ 使得

$$\mathop{\oplus}_{i=1}^{p}(\lambda_i \otimes \xi) \oplus \mathop{\oplus}_{j\in\Delta}(v_j \otimes \gamma_j) = 0, v_j[\cdot]g(x^0, u^j) \geqslant 0, j \in \Delta. \tag{2}$$

因为 $f_i(i=1,\cdots,p)$ 为 (h,φ) 不变凸函数,则对于(VP)和(VD)的可行解 $x, w = (y,\lambda,v)$ 有

$$f_i(x)[-]f_i(y) \geqslant (\xi_i^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}, i = 1,\cdots,p.$$

对 $\lambda_i \geqslant 0, i = 1,\cdots,p, \sum\limits_{i=1}^{p}\lambda_i = 1$ 有

$$\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y)) \geqslant \lambda_i[\cdot](\xi_i^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi},$$

$i = 1,\cdots,p$,即

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y)) \geqslant$$

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](\xi_i^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}.$$

由引理 2 可得

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y)) \geqslant$$
$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](\xi_i^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi} = ((\bigoplus_{i=1}^{p}\lambda_i \otimes \xi_i)^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}. \quad (3)$$

又 $g(x,u^j),j\in\Delta$ 对于 $\forall u^j\in Y$ 是 (h,φ) 不变凸函数,故有

$$v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)) \geqslant v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}, j\in\Delta,$$
即
$$[\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)) \geqslant [\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}.$$

再由引理 2 可得

$$[\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)) \geqslant$$
$$[\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi} = ((\bigoplus_{j\in\Delta} v_j \otimes \gamma_j)^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}. \quad (4)$$

(3),(4)两式相加,再结合(2)式得

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y)) \cdot [+][\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)) \geqslant 0,$$
即
$$\varphi^{-1}(\varphi([\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y))) + \varphi([\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)))) \geqslant 0,$$

由 φ 是 R 上的严格单调递增函数,$\varphi(0)=0$,可得

$$\varphi([\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y))) \geqslant -\varphi([\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j))),$$
即
$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(x)[-][\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y) \geqslant -[\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)),$$
$$\varphi([\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(x)) \geqslant \varphi([\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y)) + \varphi([\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(y,u^j)) - \varphi([\sum_{j\in\Delta}]v_j[\cdot](g(x,u^j)).$$

注意到 $g(x,u^j)\leqslant 0,g(y,u^j)\geqslant 0$,$\varphi$ 的单调递增性,对上式两边取 φ^{-1} 得

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(x) \geqslant [\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y)[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot]g(y,u^j).$$

定理 2 (弱对偶) 设 φ 是 R 上的严格单调函数,$f_i(i=1,\cdots,p)$,$g(x,u)$ 分别为 X^0,$X^0\times Y$ 上的 Lipschitz 的函数,且 $f_i(i=1,\cdots,p)$ 为 (h,φ) 不变凸函数,$g(x,u^j),j\in J_1$ 对于 $\forall u^j\in Y$ 关于 x 是 (h,φ) 不变凸函数,$g(x,u^j),j\in J_2$ 对于 $\forall u^j\in Y$ 关于 x 是 (h,φ) 拟不变凸函数,如果 $\varphi(0)=0,h(0)=0$,则对(VP)和(VD)的任意可行解 $x,w=(y,\lambda,v)$,都有

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(x) \geqslant [\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y)[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot]g(y,u^j).$$

证明 由定理 1 证明可得,(2)式和(3)式成立.又 $g(x,u^j),j\in J_1$ 对于 $\forall u^j\in Y$ 关于 x 是 (h,φ) 不变凸函数,故有

$$[\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(x^0,u^j)) \geqslant$$
$$[\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,x^0))_{h,\varphi} = ((\bigoplus_{j\in J_1} v_j \otimes \gamma_j)^{\mathrm{T}}\eta(x,x^0))_{h,\varphi}. \quad (5)$$

又 $g(x,u^j),j\in J_2$ 关于 x 是 (h,φ) 拟不变凸函数,$g(x,u^j)\leqslant 0,g(y,u^j)\geqslant 0,v_j\geqslant 0$,故有

$$g(x,u^j)\leqslant g(y,u^j) \Rightarrow (\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}\leqslant 0, j\in J_2,$$
$$[\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](g(x,u^j) \leqslant [\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](g(y,u^j)) \Rightarrow [\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}\leqslant 0,$$
即
$$[\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi} = ((\bigoplus_{j\in J_2} v_j \otimes \gamma_j)^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi}\leqslant 0. \quad (6)$$

对(3)式和(5)式做广义加法运算,并由(2)式,(6)式及引理 1 得

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y))[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)) \geqslant 0.$$

再类似于定理 1 中的证明,即可得定理 2.

定理 3 (弱对偶) 设 φ 是 R 上的严格单调函数,$f_i(i=1,\cdots,p)$,$g(x,u)$ 分别为 X^0,$X^0\times Y$ 上的 Lipschitz 函数,$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y)[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot]g(y,u^j)$ 为 (h,φ) 伪不变凸函数,$g(x,u^j),j\in J_2$ 对于 $\forall u^j\in Y$ 关于 x 是 (h,φ) 拟不变凸函数,如果 $\varphi(0)=0,h(0)=0$,则对(VP)和(VD)的任意可行解 $x,w=(y,\lambda,v)$,都有

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(x) \geqslant [\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y)[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot]g(y,u^j).$$

证明 因为对(VP)和(VD)的任意可行解 x,w

$= (y,\lambda,v)$，都有 $g(x,u^j) \leqslant 0, g(y,u^j) \geqslant 0$，故有 $g(x,u^j) \leqslant g(y,u^j)$. 又 $g(x,u^j), j \in J_2$ 对于 $\forall u^i \in Y$ 关于 x 是 (h,φ) 拟不变凸函数，故对 $v_j \geqslant 0$，有

$$[\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](g(x,u^j) \leqslant [\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](g(y,u^j)) \Rightarrow [\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi} \leqslant 0$$，即

$$[\sum_{j\in J_2}]v_j[\cdot](\gamma_j^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi} = ((\bigoplus_{j\in J_2} v_j \otimes \gamma_j)^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi} \leqslant 0.$$

由引理 1 和(2)式可得

$((\bigoplus_{i=1}^{p} \lambda_i \otimes \xi_i \oplus \bigoplus_{j\in J_1} v_j \otimes \gamma_j)^{\mathrm{T}}\eta(x,y))_{h,\varphi} \geqslant 0$，又 $[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot]f_i(y)[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot]g(y,u^j)$ 为 (h,φ) 伪不变凸函数，故有

$$[\sum_{i=1}^{p}]\lambda_i[\cdot](f_i(x)[-]f_i(y))[+][\sum_{j\in J_1}]v_j[\cdot](g(x,u^j)[-]g(y,u^j)) \geqslant 0.$$

再类似于定理 1 中的证明，即可得定理 3.

定理 4 （直接对偶）设 φ 是 R 上的严格单调函数，$\varphi(0)=0, h(0)=0$，并且 x^0 是(VP)的有效解，且存在 $\lambda_i \geqslant 0, v_j \in \Lambda$ 使得

$$0 \in \bigoplus_{i=1}^{p} \lambda_i \otimes \partial f_i(x^0) \oplus \bigoplus_{j\in\Delta} (v_j \otimes \partial g(x^0,u^j)),$$

$$v_j[\cdot]g(x^0,u^j) = 0,$$

则 $w = (x^0,\lambda,v)$ 是(VD)的有效解.

证明类似于文献[3]中定理 4.

参考文献：

[1] 王香柯. 一类 (h,φ) 意义下非光滑解得充分条件[J]. 青岛大学学报，1996，11(1)：51-57.

[2] 张庆祥. 非光滑 (h,φ) 半无限规划解的充分性和对偶性[J]. 应用数学学报，2001，24(1)：129-138.

[3] 徐义红，刘三阳. (h,φ) 不变广义凸函数的若干性质与 (h,φ) 不变广义凸多目标规划的最优性及对偶性[J]. 应用数学学报，2003，26(4)：727-736.

[4] Avriel M. Nonlinear programming：analysis and methods [M]. New Jersey：Prentice-Hall，Englewood Cliffs，1976.

（责任编辑：尹　闯）

美国科学家确认亚洲栽培稻起源于中国

亚洲栽培稻是世界上最古老的农作物物种之一，主要分为籼稻和粳稻两个亚种，关于其起源有两种不同的理论：单一起源理论认为，籼稻和粳稻均由野生稻栽培而来；多起源理论认为，籼稻和粳稻在亚洲不同地点分别栽培而来。

近来，美国科学家利用已公布的数据库以及先进的计算机运算规则，重新分析了亚洲栽培稻的进化史。发现籼稻和粳稻具有同一起源，因为二者尽管具有诸多遗传差异性，但彼此间的遗传关系仍比与印度或中国发现的任何野生稻种类的遗传关系都要近。后来他们对栽培稻和野生稻染色体上 630 个基因片段进行重新测序，发现基因测序数据与单起源理论更一致。科学家再利用稻米基因的分子钟分析亚洲栽培稻的进化时间，认为亚洲栽培稻大约在 8200 年前开始出现，籼稻和粳稻在大约 3900 年前开始分离。而考古学家已经发现，中国长江流域 8000 年至 9000 年前出现了栽培稻，而印度恒河流域大约 4000 年前才开始出现栽培稻。美国科学家的结论与考古学的发现一致，说明亚洲栽培稻实际上起源于中国。

（据科学网）