

不同温型小麦灌浆结实期农田热量平衡 及其气象效应

严菊芳,张嵩午

(西北农林科技大学 理学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 为了揭示冷型小麦田间小气候环境形成机理及为优良品种的培育提供理论基础,在晴天测定灌浆结实期冷型小麦“陕 229”和暖型小麦“NR9405”的农田热量平衡、农田土壤温度、叶片蒸腾速率和株间气温,研究不同温型小麦灌浆结实期的农田热量平衡及气象效应。结果表明,灌浆结实期冷型小麦“陕 229”的农田净辐射与暖型小麦“NR9405”差异不显著,农田潜热通量、湍流热通量和土壤热通量差异均显著;与暖型小麦“NR9405”相比,冷型小麦“陕 229”0~20 cm 土层土壤温度和株间气温均较低,叶片蒸腾速率高 $0.0013 \sim 0.0041 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。说明旺盛的蒸腾作用和较低的土壤热通量是形成冷型小麦田间冷湿环境的主要原因,而较低的株间气温和土壤温度使冷型小麦绿叶期延长、根系活力旺盛,从而有效地延缓了后期早衰,提高了其千粒重。

[关键词] 冷型小麦;暖型小麦;农田;热量平衡;气象效应

[中图分类号] S512.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)09-0049-04

Study on the heat balance and the meteorological effect during milk-filling and burliness stage of the different type wheat

YAN Ju-fang, ZHANG Song-wu

(College of Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The studies on the heat balance, the farmland soil temperature, transpiration rate and the air temperature of different type wheat “Shaan 229” and “NR9405” in row were carried out in order to determine the cold wheat field microclimate environment to form the mechanism and provide the rationale for the improved seed cultivation. The results showed that, the net radiation of “Shaan 229” during milk-filling and burliness stage had little change, while latent heat flux, the turbulent heat flux and soil heat flux had marked change compared with “NR9405”. The meteorological effect showed that the temperature in soil 0 - 20 cm was lower; the transpiration rate was $0.0013 - 0.0041 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ higher; the average canopy temperature was 0.8 - 1.3 °C lower. The difference of the farm land heat distribution conditions between two temperature type wheat was caused by exuberant transpiration and the lower turbulent heat flux. The lower temperature in plant and in the soil led to the green leaves duration longer, and the root system vigor exuberant, therefore effectively delayed the later period senescence and improved the weight of a thousand seeds.

Key words: cold type wheat; warm type wheat; farmland; the heat balance; meteorological effect

农田热量平衡是农田小气候形成的物理基础,也是影响田间作物生长发育状况的重要外部环境因

收稿日期: 2007-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(30470333)

作者简介: 严菊芳(1969-),女,陕西韩城人,讲师,主要从事农业气象及作物栽培研究。

素。田间热量平衡各分量的差异对作物的生长发育及田间小气候特征的形成具有重要意义。有研究表明^[1-4],冷型小麦较暖型小麦具有优良的生物学性状,且其田间小气候环境较冷湿^[5-7],但其机理尚不清楚。本研究对冷型小麦的农田热量平衡及其气象效应进行了分析,探讨了冷型小麦具有优良生物学性状的外部原因,以期创造适宜的小气候环境、培育优良的小麦新品种提供理论依据。

1 试验区概况及研究方法

1.1 试验区概况

试验于 2003 ~ 2005 年在陕西杨凌 (34°20'N, 108°4'E) 西北农林科技大学农作二站旱棚内进行,该区属我国小麦产区中的黄淮海平原冬麦区,为暖温带半湿润气候。年平均气温 12.9℃,≥10℃年积温 4 169.2℃,无霜期 310 d,年降水量 631 mm,年日照时数 2 162.9 h,年日照百分率 49%。

1.2 试验材料与设计

供试小麦品种:冷型小麦“陕 229”和暖型小麦“NR9405”,由陕西杨凌西北农林科技大学农学院提供。每品种 3 个小区,每小区播 10 行,行长 2.67 m,行距 0.20 m,株距 0.03 m。小区随机区组排列,于 10 月上旬开沟带尺点播。播前每小区施用尿素 225 kg/hm²,磷酸二氢氨 225 kg/hm²,磷酸二氢钾 30 kg/hm²,一次性施足底肥,冬灌 1 次。田间管理按中国黄淮平原冬麦区品种比较试验的要求进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 气象要素 用通风干湿表、热球微风仪测定距地面 5、20 和 150 cm 及 2/3 株高处的空气温度、空气湿度和风速。用净辐射表测定作物层顶上方 50 cm 处的净辐射。用曲管地温表观测田间 0、5、10、15、20 cm 深度处的土壤温度。观测时间分别为 05-06、05-13、05-21、05-29 午后 14:00。

1.3.2 蒸腾速率 分别于 05-05、05-12、05-19 和 05-26 上午,利用 LF6400 型便携式光合仪测定供试品种旗叶、倒二叶和倒三叶蒸腾速率。每次 3 个重复,每处理取 3 片叶。

1.3.3 热量平衡计算 农田活动层的热量平衡方程可简化为:

$$R = P + L E_c + Q_s \tag{1}$$

式中,R 为净辐射,P 为湍流热通量,L E_c 为农田潜热通量,Q_s 为土壤热通量。R 为实测值,P、L E_c 采用 M u 布柯德法计算^[8],计算公式如下:

$$L E_c = - \rho L K \frac{\partial q}{\partial Z} \tag{2}$$

$$P = - \rho C_p K \frac{\partial T}{\partial Z} \tag{3}$$

式中,ρ 为空气密度,L 为汽化潜热,C_p 为定压比热, $\frac{\partial q}{\partial Z}$ 、 $\frac{\partial T}{\partial Z}$ 分别为比湿垂直梯度和温度垂直梯度,K 为湍流交换系数。K 由下式计算:

$$K = \frac{k^2 (U_2 - U_1)}{\ln \frac{Z_2}{Z_1}} \left[1 + \frac{T_1 - T_2}{(U_2 - U_1)^2} \ln \frac{Z_2}{Z_1} \right] \times Z \tag{4}$$

$$\text{令 } K' = \frac{k^2 (U_2 - U_1)}{\ln \frac{Z_2}{Z_1}} \left[1 + \frac{T_1 - T_2}{(U_2 - U_1)^2} \ln \frac{Z_2}{Z_1} \right] \tag{5}$$

$$\text{则: } K = K' \times Z \tag{6}$$

式中,k 为卡曼常数(取 0.38),U₁、U₂ 和 T₁、T₂ 分别为高度 Z₁、Z₂ 处的风速和空气温度,Z 为 Z₁ 和 Z₂ 间的某一高度。对式(2)和(3)进行积分,高度由 Z₁ 到 Z₂,比湿由 q₁ 到 q₂,温度由 T₁ 到 T₂,得:

$$L E_c = \rho L K \frac{(q_1 - q_2)}{\ln \frac{Z_2}{Z_1}} \tag{7}$$

$$P = \rho C_p K \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \frac{Z_2}{Z_1}} \tag{8}$$

式中,q₁ - q₂ = 0.622 × 10⁻³ (e₁ - e₂),C_p = 1.004 6 J/(g · °C),L = 2.5 × 10³ J/g。

土壤热通量可用式(1)导出:

$$Q_s = R - P - L E_c \tag{9}$$

2 结果与分析

2.1 不同温型小麦灌浆结实期的农田热量平衡

表 1 表明,不同温型小麦的热量平衡各分量值有明显差异。晴天午后“陕 229”的净辐射(R)较“NR9405”低 13.02 ~ 36.25 w/m²;农田潜热通量(L E_c)高 36.40 ~ 126.55 w/m²;湍流热通量(P)低 42.15 ~ 120.69 w/m²;土壤热通量(Q_s)低 9.65 ~ 36.13 w/m²。随着生育期延迟,农田潜热通量在净辐射中所占的比例(L E_c/R)逐渐下降,湍流热通量在净辐射中所占的比例(Q_s/R)逐渐增加。05-06 ~ 29,“陕 229”的 L E_c/R 下降了 26.8%,而“NR9405”的 L E_c/R 下降了 39.0%。这是由于暖型小麦“NR9405”绿叶数较少^[2],蒸腾作用下降,从而使其农田潜热通量显著偏低;而冷型小麦“陕 229”绿叶期长,衰老慢。经 t 检验分析,小麦“陕 229”与“NR9405”的农田净辐射差异不显著;农田潜热通量

和湍流热通量在 0.01 水平差异均显著,土壤热通量在 0.05 水平上差异显著。

表 1 不同温型小麦灌浆结实期的农田热量平衡各分量值

Table 1 Each part of heat balance in farmland of different type wheat during milk-filling stage								
日期 Date	小麦品种 Type	$R/$ ($W \cdot m^{-2}$)	$L E_c/$ ($W \cdot m^{-2}$)	$(L E_c/ R)/ \%$	$P/$ ($W \cdot m^{-2}$)	$(P/ R)/ \%$	$Q_s/$ ($W \cdot m^{-2}$)	$(Q_s/ R)/ \%$
05-06	陕 229 Shaan229	522.45	356.82	68.3	53.16	10.2	112.47	21.5
	NR9405	537.85	320.42	59.6	95.31	17.7	122.12	22.7
05-13	陕 229 Shaan229	551.23	366.02	66.4	72.59	13.2	113.62	20.4
	NR9405	564.25	305.17	54.1	125.35	22.2	133.73	23.7
05-21	陕 229 Shaan229	612.06	363.10	59.3	124.42	20.3	124.54	20.4
	NR9405	648.31	262.18	40.4	225.46	34.8	160.67	24.8
05-29	陕 229 Shaan229	638.61	264.84	41.5	208.24	32.6	165.53	25.9
	NR9405	670.24	138.29	20.6	328.93	49.1	193.02	30.3

注: $L E_c$ 和 P 均为距地面 0.2 m 到冠顶的值。
Note: $L E_c$ and P stand for the value from ground 0.2 m the crown.

2.2 不同温型小麦灌浆结实期的农田气象效应

2.2.1 农田土壤温度 有研究表明^[2],冷型小麦根系发达,除了其本身的生物学性状外,还与冷型小麦根区土壤温度有关。郎红东等^[9]指出,土壤温度升

高会导致土壤中 CO_2 浓度增高,而 0 ~ 30 cm 土层 CO_2 浓度与小麦根系生长密切相关。图 1 是不同温型小麦灌浆成熟期 0 ~ 20 cm 土层土壤温度的垂直分布图。

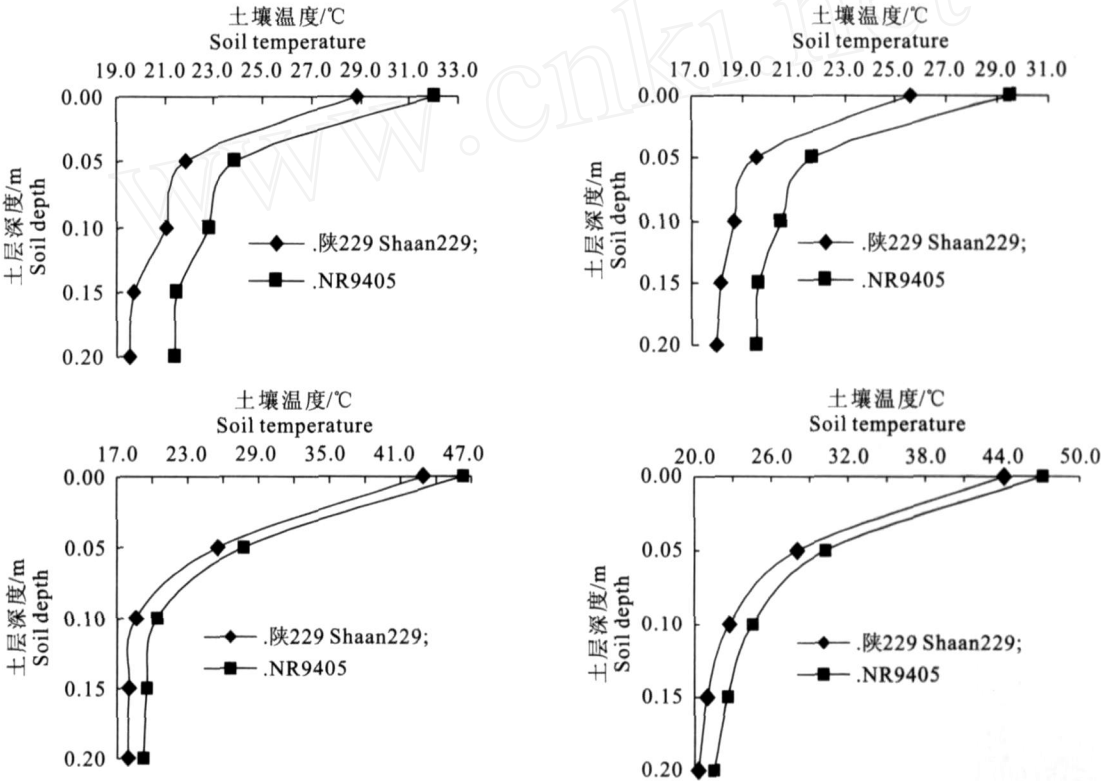


图 1 不同温型小麦灌浆结实期 0 ~ 20 cm 土层土壤温度的垂直分布

Fig.1 Vertical distribution of soil temperature in 0 ~ 20 cm of different type wheat during milk-filling stage

由图 1 可知,05-06 ~ 29,在 0 ~ 20 cm 土层,随土层深度增加,不同温型小麦的土壤温度均呈逐渐降低趋势,并且冷型小麦“陕 229”的土壤温度均低于暖型小麦“NR9405”。与小麦“NR9405”相比,05-06、05-13、05-21 和 05-29 小麦“陕 229”的土壤温度分别偏低 3.1、3.9、3.4 和 3.0。这是由于土壤热通量的差异引起的,“陕 229” Q_s/ R 较“NR9405”分

别降低 1.2 %、3.3 %、4.4 %和 3.4 %。较低的土壤热通量使“陕 229”的土壤温度降低,在灌浆结实期,表层土壤温度已超过冬小麦根系生长的最适范围(冬小麦根系生长最适温度为 12 ~ 18),冷型小麦较低的土壤温度为小麦根系生长创造了良好的土壤微环境,对小麦灌浆十分有利

2.2.2 小麦叶片蒸腾速率 考虑到不同叶位叶片

对籽粒充实贡献的权重不同^[10],以灌浆结实期小麦“陕 229”和“NR9405”旗叶、倒 2 叶和倒 3 叶蒸腾速率的加权平均值作为叶片蒸腾速率。不同温型小麦灌浆结实期叶片蒸腾速率的变化见图 2。

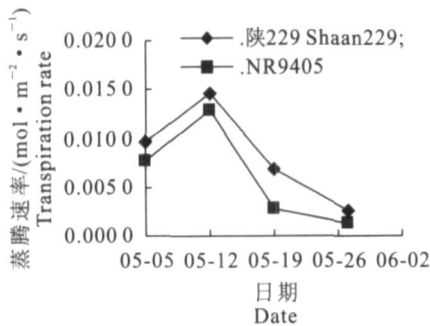


图 2 不同温型小麦灌浆结实期叶片蒸腾速率的变化
Fig. 2 Change of transpiration rate of different type wheat during milk-filling
由图 2 可知,05-05~26,冷型小麦“陕 229”的蒸腾速率高于暖型小麦“NR9405”,经 t 检验分析,差异达显著水平($\alpha=0.05$)。灌浆成熟期间,随着成熟期的临近,“陕 229”和“NR9405”叶片蒸腾速率总的

变化趋势是减小的,某段所出现的高低波动则和测定时的天气状况有关。

植株蒸腾和土壤蒸发所消耗的热量即农田潜热通量。表 1 显示,随着成熟期临近,农田热量平衡中的农田潜热通量趋于减小,即消耗于植株蒸腾的热量逐渐较少,这是叶片蒸腾速率趋于减小的原因所在。

2.2.3 株间气温 由表 2 可知,05-06~29,冷型小麦“陕 229”的株间气温均低于暖型小麦“NR9405”;距成熟期临近,二者差异增大;随距地面高度的增加,二者差异减小。其中 05-06~29,在距地面 5 cm 高度处,“陕 229”的株间气温较“NR9405”降低 1.3~1.7,距地面 20 cm 高度处气温降低 0.8~1.3;而在距地面 150 cm 高度处则降低 0.3~0.5。灌浆结实期后期,较高的株间气温促使了“NR9405”早衰。造成这种现象的主要原因是由于灌浆结实后期,“陕 229”的湍流热通量显著低于“NR9405”所致(表 1);此外“陕 229”的土壤热通量偏低,使其地面温度较低,致使地面有效辐射较小也是原因之一。

表 2 不同温型小麦灌浆结实期株间气温的变化

Table 2 Air temperature in row during milk-filling and burliness stage of different-type wheat									
距地面高度 Height from ground	05-06		05-13		05-21		05-29		
	陕 229 Shaan229	NR9405	陕 229 Shaan229	NR9405	陕 229 Shaan229	NR9405	陕 229 Shaan229	NR9405	
150 cm	26.3	26.8	25.7	26.0	28.2	29.0	28.7	29.2	
2/3 株高 2/3 height of vegetation	26.5	27.4	25.8	26.2	29.2	29.9	29.5	30.4	
20 cm	28.6	29.8	27.2	28.0	29.9	30.9	30.2	31.5	
5 cm	29.8	31.1	27.7	29.2	30.2	31.7	31.1	32.8	

3 结论与讨论

有研究表明,冷型小麦叶片功能期、叶绿素含量、净光合速率及保护酶活性均明显优于暖型小麦^[1-2,4],具有较明显的抗早衰能力,冷型小麦这种优良的代谢特性对干旱、阴雨等灾害性天气条件具有一定的适应性^[1],有利于小麦的高产和稳产,将来小麦品种的选育有可能向“大的潜在库容+小麦的冷温状态”这一模式发展^[11]。本研究结果表明,虽然冷型小麦“陕 229”与暖型小麦“NR9405”获得的净辐射差异不显著,但“陕 229”消耗于农田蒸散的能量较多,致使农田潜热通量、湍流热通量和土壤热通量较暖型小麦“NR9405”显著偏低;较低的土壤热通量使其土壤温度较低,而灌浆结实期较低的土壤温度有利于根系生长,根活力增强^[1],蒸腾作用旺盛;旺盛的蒸腾作用则使其株间气温偏低,湿度增

大^[5-6],有效地延缓了后期早衰,延长了灌浆时间,扩大了潜在库容,提高了冷型小麦的千粒重^[12]。

[参考文献]

[1] 张嵩午,王长发,冯佰利,等. 灾害性天气条件下小麦低温种质的性状表现[J]. 自然科学进展,2001,11(10):1068-1073.
[2] 张嵩午,王长发. 冷型小麦及其生物学特征[J]. 作物学报,1999,25(5):608-615.
[3] 张嵩午,王长发. 小麦冷源及其性状特征的研究[J]. 中国农业科学,2001,34(1):1-4.
[4] 冯佰利,高小丽,王长发,等. 干旱条件下不同温型小麦叶片衰老与活性氧代谢特性的研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):74-76.
[5] 许秀娟,张嵩午. 冷型小麦灌浆期农田小气候特征分析[J]. 中国生态农业学报,2002,10(4):34-37.

(下转第 57 页)

会产生一定的影响。此外,缓冲体系的 pH 和阴离子强度的调整,改变了电泳中的游离电荷数量,这种电荷差异与电场及正在迁移的蛋白组分相互作用,造成电泳中局部电动势的改变,对蛋白的分离产生影响。深入研究电荷差异对电泳分辨率的影响可为 A-PAGE 电泳技术的进一步改进提供新的空间。

在评价体系方面,建立具有中国特色的评价体系,并将其与国际标准接轨是不矛盾的。本研究对国内 40 个小麦品种(系)进行了初步筛选,以期筛选出可以作为醇溶蛋白标准的品种。本研究结果表明:供试品种中有 7 个品种(系)的个别条带与 Marquis 的 R24、R50、R79 条带有不同程度的吻合;品种荔丰 3 号同时具有与 Marquis R24、R50、R79 最接近的 3 个醇溶蛋白组分,可以作为 R_f 参照。说明在我国的小麦醇溶蛋白遗传资源中,能够作为标准参照品种的资源是比较丰富的。要有效开发利用我国小麦醇溶蛋白资源,需要针对不同用途制定不同的标准化评价体系。这就要求在收集醇溶蛋白指纹资源的基础上,以应用目标为出发点,对信息进行科学地分析和归类,构建小麦醇溶蛋白理论研究 - 技术创新 - 高效应用之间的桥梁。

[参考文献]

[1] Payne P I, Roca A. Genetic linkage between storage protein genes on each of the short arms of chromosome 1A and 1B of wheat[J]. Theor Appl Genet, 1995, 91: 1001-1007.

[2] Bushuk W, Zillman R R. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams[J]. Can J Plant Sci, 1978, 58: 505-515.

[3] Draper S R. ISTA variety committee report of the working group for biochemical tests for cultivar identification 1983 - 1986[J]. Seed Sci Technol, 1987, 15: 431-434.

[4] 颜启传, 黄亚军, 徐 媛. 我国适用的小麦和大麦种子醇溶蛋白聚丙烯酰胺凝胶电泳鉴定品种的标准程序[J]. 种子, 1989(6): 55-57.

[5] 颜启传, 黄亚军, 徐 媛. 试用 ISTA 推荐的种子醇溶蛋白电泳方法鉴定大麦和小麦品种[J]. 作物学报, 1992, 18(1): 61-68.

[6] 邵锦震, 丁 毅. 麦醇溶蛋白 A-PAGE 方法的优化和改进[J]. 武汉大学学报: 自然科学版, 2000, 46(6): 733-738.

[7] 王学路, 钱曼懋, 宋春华, 等. 改良 ISTA 醇溶蛋白电泳方法及其应用[J]. 作物品种资源, 1994(2): 32-34.

[8] 阎旭东, 卢少源, 李宗智. 适合于我国小麦醇溶蛋白分析的 A-PAGE 方法[J]. 河北农业大学学报, 1994, 17(1): 7-10.

[9] 傅宾孝, 于光华, 王乐凯, 等. 小麦醇溶蛋白电泳分析的新方法[J]. 作物学报, 1993, 19(2): 185-187.

[10] 高居荣, 王洪刚, 刘树兵, 等. 小麦种子醇溶蛋白聚丙烯酰胺凝胶电泳技术的简化研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(2): 43-46.

[11] 孙致良, 蒋家慧, 梁永平, 等. 小麦品种电泳分类鉴定技术的标准化研究[J]. 植物学报, 1997, 39(8): 731-736.

[12] 刘 华, 王宇生, 张 辉, 等. 小麦种质资源醇溶蛋白指纹图谱数据库的初步建立及应用[J]. 作物学报, 1999, 25(6): 674-682.

[13] Sapirstein H D, Bushuk W. Computer-aided analysis of gliadin electrophoregrams I. Improvement of precision of relative mobility determination by using a three reference band standardization[J]. Cereal Chem, 1985, 62(5): 372-377.

(上接第 52 页)

[6] 严菊芳, 张嵩午, 刘党校, 等. 干旱胁迫下不同温型小麦农田微气象特征研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(10): 49-54.

[7] 许秀娟, 张嵩午. 冷型小麦灌浆期农田水分利用状况初探[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(5): 13-15.

[8] 翁笃鸣, 陈万隆, 沈觉成, 等. 小气候及农田小气候[M]. 北京: 农业出版社, 1981: 40-90.

[9] 郎红东, 杨剑虹. 土壤 CO₂ 浓度变化及其影响因素的研究[J].

西南农业大学学报: 自然科学版, 2004(6): 731-734.

[10] 郑广华, 徐阿炳, 李雅志. 小麦体内同化产物分配利用规律的初步研究[J]. 植物生理学通讯, 1964(3): 7-16.

[11] 张嵩午, 王长发, 冯佰利, 等. 冷型小麦单穗潜在库填充的研究[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(4): 31-33.

[12] 周春菊, 张嵩午, 王林权, 等. 冷型小麦产量及其构成因素的施肥效应分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 1-4.