

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

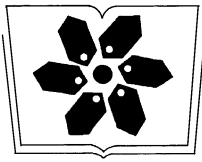
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 17 期 Vol.33 No.17 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 17 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 植物角质层蜡质的化学组成研究综述 曾 琼, 刘德春, 刘 勇 (5133)
- 中国滨海盐沼湿地碳收支与碳循环过程研究进展 曹 磊, 宋金明, 李学刚, 等 (5141)

个体与基础生态

- 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等 (5153)
- 盐地碱蓬二型性种子及其幼苗对盐渍环境的适应性 刘 艳, 周家超, 张晓东, 等 (5162)
- 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应 丁 红, 张智猛, 戴良香, 等 (5169)
- 夏季苹果新梢生理指标与抗苹果绵蚜的关系 王西存, 周洪旭, 于 毅, 等 (5177)
- 花期海蓬子对盐胁迫的生理响应 刘伟成, 郑春芳, 陈 琛, 等 (5184)
- 白蜡多年卧孔菌生物学特性及驯化栽培 鲁 铁, 图力古尔 (5194)
- 重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响——以坡度和坡向为例
..... 白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (5201)
- 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等 (5210)
- 大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征 王丽芳, 王德轩, 上官周平 (5219)
- 复合不育剂 EP-1 对小鼠空间记忆与焦虑行为的影响 王晓佳, 秦婷婷, 胡 霞, 等 (5228)

种群、群落和生态系统

- 小兴安岭阔叶红松混交林林隙特征 刘少冲, 王敬华, 段文标, 等 (5234)
- 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征 林 丽, 李以康, 张法伟, 等 (5245)
- 中亚热带人工针叶林生态系统碳通量拆分差异分析 黄 昆, 王绍强, 王辉民, 等 (5252)
- 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应 赵成章, 张 静, 盛亚萍 (5266)
- 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群 彭松耀, 李新正 (5274)

景观、区域和全球生态

- 采伐干扰对大兴安岭落叶松-苔草沼泽植被碳储量的影响 牟长城, 卢慧翠, 包 旭, 等 (5286)
- 西南喀斯特地区轮作旱地土壤 CO₂ 通量 房 彬, 李心清, 程建中, 等 (5299)
- 干湿季节下基于遥感和电磁感应技术的塔里木盆地北缘绿洲土壤盐分的空间变异性
..... 姚 远, 丁建丽, 雷 磊, 等 (5308)
- 东北温带次生林和落叶松人工林土壤 CH₄ 吸收和 N₂O 排放通量 孙海龙, 张彦东, 吴世义 (5320)
- 新疆东部天山蝶类多样性及其垂直分布 张 鑫, 胡红英, 吕昭智 (5329)
- 玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系 蔡 福, 周广胜, 明惠青, 等 (5339)

天山北坡家庭牧场复合系统对极端气候的响应过程..... 李西良,侯向阳,丁 勇,等 (5353)

大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例..... 李 灿,张凤荣,朱泰峰,等 (5363)

资源与产业生态

基于 GLBM 模型的中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化 陆化杰,陈新军,曹 杰 (5375)

三峡库区古夫河水质时空分异特征..... 冉桂花,葛继稳,苗文杰,等 (5385)

城乡与社会生态

汉、藏、回族地区农户的环境影响——以甘肃省张掖市、甘南藏族自治州、临夏回族自治州为例.....

..... 赵雪雁,毛笑文 (5397)

研究简报

中国近海浮游动物群落结构及季节变化..... 杜明敏,刘镇盛,王春生,等 (5407)

海洋污染物对菲律宾蛤仔的免疫毒性..... 丁鉴锋,闫喜武,赵力强,等 (5419)

衰亡期沉水植物对水和沉积物磷迁移的影响..... 王立志,王国祥 (5426)

伊洛河流域外来草本植物分布格局..... 郭屹立,丁圣彦,苏 思,等 (5438)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-09



封面图说: 帽儿山次生林林相——帽儿山属于长白山山脉的张广才岭西坡,松花江南岸支流阿什河的上游,最高海拔 805m,由侏罗纪中酸性火山岩构成,是哈尔滨市附近的最高峰,因其貌似冠状而得名。东北林业大学于 1958 年在此建立了实验林场。山上生长着松树、榆树、杨树及各种灌木等,栖息着山鸡、野兔等野生动物,在茂密的草地上还生长有各种蘑菇。其地带性植被为温带针阔混交林,目前状况为天然次生林。部分地方次生林转变为落叶松人工林后,落叶松林地的凋落物层影响了林地土壤水分的格局。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201205230768

蔡福,周广胜,明惠青,李荣平.玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系.生态学报,2013,33(17):5339-5352.

Cai F, Zhou G S, Ming H Q, Li R P. Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5339-5352.

玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系

蔡 福¹, 周广胜^{2,*}, 明惠青³, 李荣平¹

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081;

3. 辽宁省气象服务中心, 沈阳 110016)

摘要:对锦州玉米农田生态系统生长季内的粗糙度(z_0)和零平面位移(d)动态特征及其与风速、株高(h)和叶面积指数(LAI)的关系分析表明:零平面位移(d)在玉米拔节后 10d 左右,株高约 1.40m 时开始出现,在抽雄前为 0.80—1.00m,抽雄后为 1.00—1.40m; z_0 在抽雄前小于 0.20m,乳熟前后达到最大,约为 0.40m。 d/h 和 z_0/h 分别为 0.40—0.54 和 0.10—0.14,在 h 达到最大值前,分别随 LAI 增大而减小和增大。 d 出现前, z_0 与风速呈负指数关系,与 LAI 和 h 都呈线性关系。 d 出现后,风速与 z_0 、 d 之和的关系比与各自的关系更显著; d 与 LAI、 h 都呈显著指数正相关关系,LAI、 h 对 z_0 的影响大于 d 和 z_0+d ,且 h 的作用大于 LAI。 d 出现至 h 达到最大期间,上述各种关系最为显著。研究结果可为建立空气动力学参数的动态参数化方案及改进陆面过程模型提供依据。

关键词:玉米农田;粗糙度;零平面位移;动态

Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors

CAI Fu¹, ZHOU Guangsheng^{2,*}, MING Huiqing³, LI Rongping¹

1 Institute of atmospheric environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110016, China

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

3 Liaoning Province Meteorological Service Center, Shenyang 110016, China

Abstract: Based on continuous observation data of 16 m gradient weather observation tower from 2006 to 2008 at Jinzhou agricultural ecosystem research station, dynamic characteristics of aerodynamic parameters roughness (z_0) and zero-plane displacement (d) over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors during growing seasons are analyzed. The results showed that d appears about 10 days after jointing when plant height (h) is about 1.40 m and increases from 0.80—1.00 m to 1.00—1.40 m after tasseling stage. z_0 is smaller than 0.20 m before tasseling stage and comes to the maximum about 0.4m before and after milk stage. d/h and z_0/h are 0.40—0.54 and 0.10—0.14, and are decreasing and increasing with LAI, respectively, before h comes to the maximum. Before d appears, negative exponent and positive linear relationships between z_0 and wind speed at 2 m (u_2), z_0 and LAI or h are found. Yet, after d appears, relationship between u_2 and z_0+d is more notable than those between u_2 and z_0 or d . At the same time, positive exponent relationships between z_0 or d and LAI or h respectively are found. LAI and h influence more to z_0 than to d and z_0+d with greater role for the latter. Those relationships are more conspicuous from d appearing to h coming to the maximum. These research conclusions will play an important reference role for setting up aerodynamic parameterization and improving land

基金项目:国家杰出青年基金项目(40625015);国家重点基础研究发展计划(973计划)(2010CB951303);青年科学基金项目(31000230, 41101077, 41105064);中央级公益性科研院所专项资金项目(2012IAE-CMA01)共同资助

收稿日期:2012-05-23; 修订日期:2013-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhou@cams.cma.gov.cn

surface process model.

Key Words: rainfed maize agroecosystem; roughness; zero-plane displacement; dynamics

地表粗糙度(z_0)是下垫面风速为零的高度^[1]。零平面位移(d)为下垫面开始吸收动量的高度^[2], Tajchman^[3]认为它是空气块从平坦下垫面流向粗糙下垫面时向上移动的距离。 z_0 和 d 反映地表对风速的减弱作用以及对风沙活动的影响^[4-5],是描述陆地表面动量、能量和物质交换与输送的重要参数^[6-8]。 z_0 和 d 可采用根据相似理论将几个高度的风温廓线拟合的最小二乘法拟合迭代和牛顿迭代法^[9]、利用一层三维超声风速仪测定风速脉动方差的 TVM(Temperature-Variance-Method)法^[10]、Martano 法^[11-12]、质量守恒法^[13]、压力中心法^[14]和阻力法^[15]等方法进行求解。虽然这些方法都能得到 z_0 ,但是由于方法间差异及所适用大气层结条件的不同,在同一地区得到的 z_0 常常差异较大,如针对生长季长白山森林下垫面,利用质量守恒法得到的 z_0 为 $(1.60\pm 0.25)\text{m}$ ^[16],利用牛顿迭代法求得的 z_0 为 0.93m ^[17],利用各种大气层结条件求得的 z_0 为 2.00m ^[18],可见选择合理方法求解 z_0 和 d 非常重要。

在陆面过程模型中, z_0 和 d 是用于计算动量和能量输送系数的重要参数,直接影响陆气通量模拟,通常认为与地表覆盖类型相关,一般根据查表法或经验值得到,忽略了随时间的变化。如在 BATS 中, z_0 通过对给出的各种下垫面类型事先赋值来获取;LPM(Land-Surface Process Model)模型中, $z_0 = 0.10h$, $d = 0.70h$, h 为冠层高度^[19];在通用陆面模式(CLM3.0)^[20]中, $z_0 = hR_{z0m}$, $d = hR_d$, R_{z0m} 和 R_d 分别为 z_0 和 d 与 h 的比值,通过查表获取。植被-大气相互作用模式 AVIM^[21]中, z_0 和 d 是与不同植被冠层内的风速剖面一起计算,要求经验参数很多,形式复杂。研究发现,通过改善模型中 z_0 的设置,感热和地温的模拟可得到明显改善^[22],而不考虑 z_0 动态变化将导致通量计算误差的增大^[18,23]。因此,建立更为合理的 z_0 和 d 的动态参数化方案将对陆面过程模拟起到改进作用^[24],而选择最优影响因子并明确它们之间相互关系则是必要的前提。现有研究大多集中在下垫面性质不变或变化很小的戈壁^[5,25]、草地^[8]和森林^[16-17,26-27],或者生长季某一时段^[28-30],而针对农田整个生长季不同生育阶段 z_0 和 d 动态变化的研究鲜有报道^[11]。玉米农田因冠层高度和 LAI 的季节变化而使 z_0 和 d 不断改变,其变化规律如何,在整个生长季变化幅度多大都还未进行系统性研究。

基于此,本文利用锦州玉米农田生态系统野外观测站梯度观测资料采用最小二乘拟合迭代法对玉米生育期 z_0 和 d 进行计算,试图揭示其变化规律及与相关影响因子关系,这既为同类研究提供重要的资料补充,也为改进和完善陆面过程模型中 z_0 和 d 参数化方案进而提高陆面过程模拟准确性提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

锦州农田生态系统野外观测站位于东北玉米带,地处辽宁省锦州市太和区英屯村玉米地($41^\circ 49' \text{N}$, $121^\circ 12' \text{E}$, 海拔 17m),属典型温带季风型气候,玉米为主要作物。该站详细介绍参见李祎君等^[31]的研究。本研究风温资料来自 2006—2008 年 16m 高的梯度观测系统,考虑资料的连续性,选定各年风温资料为:2006 年 5 月 25 日—7 月 23 日 2.0、4.0、8.0、10.0m,9 月 10—25 日 4.0、8.0、10.0、16.0m;2007 年 5 月 17 日—8 月 19 日 2.0、4.0、10.0、16.0m;2008 年 5 月 8 日—6 月 19 日 1.0、1.5、2.0、4.0m,7 月 1 日—9 月 23 日 2.0、4.0、10.0、16.0m。3a 资料基本可覆盖一个完整的生长季。考虑不同风向下垫面差异对空气动力学参数的影响(表 1),选用生长季盛行的西南风向上的资料进行研究,为提高数据的有效性,还剔除风速不随高度增加和小于 0.22m/s 的数据,以确保风杯起转^[5]。表 2 给出各年玉米主要生育期出现日期及种植密度,其中 2008 年三叶至七叶间隔较长,而到拔节期间隔较短,这一结果主要是由于 5 月中下旬至 6 月中旬持续低温多雨导致玉米生育明显延迟,随着后期气温升高,在作物生理补偿机制的作用下快速生长所致。

表 1 玉米生长季(5—9 月)不同风向出现几率

风向 Wind direction/(°)	0—45	45—90	90—135	135—180	180—225	225—270	270—315	315—360
出现百分比 Percentages/%	8.25	8.34	1.97	1.45	63.27	13.72	0.64	2.35

表 2 2006—2008 年玉米种植密度及各生育期出现日期

年份 Year	密度(株/m ²) Density	三叶 Three leaf stage	七叶 Seven leaf stage	拔节 Jointing stage	抽雄 Tasseling stage	乳熟 Milk stage	成熟 Mature stage
2006	3.91	5 月 24 日	6 月 8 日	6 月 24 日	7 月 19 日	8 月 20 日	9 月 27 日
2007	3.80	5 月 17 日	6 月 1 日	6 月 20 日	7 月 16 日	8 月 15 日	9 月 24 日
2008	3.65	5 月 15 日	6 月 15 日	6 月 25 日	7 月 21 日	8 月 7 日	9 月 25 日

LAI 资料利用 LI-3000C 台式叶面积仪分发育期(三叶、七叶、拔节、抽雄、乳熟、成熟)进行测量后换算。3a 动态 LAI 和冠层高度(h)数据采用王玲等^[32]所建立的相对积温方法基于玉米各生育期和日平均气温资料求得^[33](图 1)。

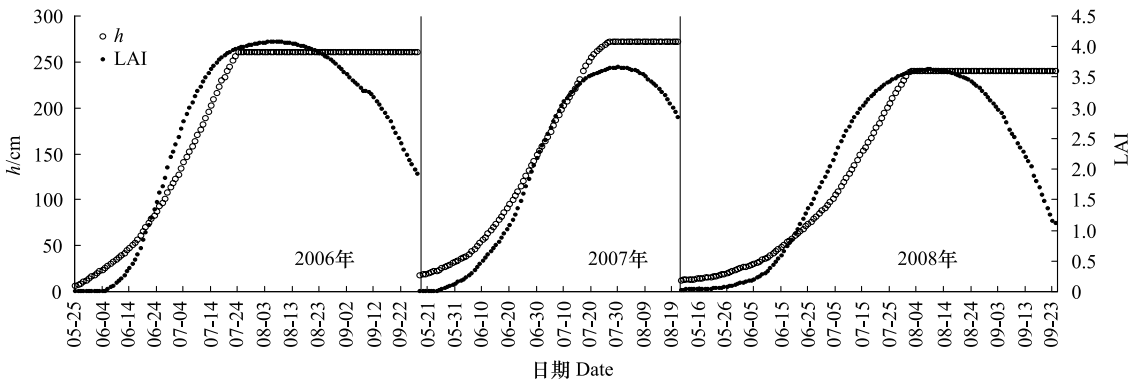


图 1 2006—2008 年玉米 h 和 LAI 动态

Fig.1 Dynamics of maize plant height and leaf area index from 2006 to 2008

1.2 研究方法

周艳莲等^[34]对各种计算 z_0 和 d 方法在不同情况下的适用性及差异的评价结果显示,最小二乘拟合迭代法在不同大气层结稳定性条件下与其它方法相比计算结果更为合理,因此,本研究采用该方法计算玉米农田 z_0 和 d 。根据 Monin-Obukhov 相似理论,近地层风速、温度廓线可表示为:

$$\begin{cases} u = \frac{u_*}{k} \left[\ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z-d}{L}\right) \right] \\ \theta = \frac{\theta_*}{k} \left[\ln\left(\frac{z-d}{z_t}\right) - \psi_h\left(\frac{z-d}{L}\right) \right] + \theta_0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)可拟合成以下形式:

$$\begin{aligned} u &= a_1 x_1 + b_1 \\ \theta &= a_2 x_2 + b_2 \end{aligned} \quad (2)$$

式中, u 为风速, θ 为位温, θ_* 为摩擦温度, u_* 为摩擦速度, z_t 为与 z_0 相类似的热力学粗糙度, k 为卡曼常熟,取 0.4, $x_1, x_2, a_1, a_2, b_1, b_2$ 分别表示为:

$$\begin{aligned} x_1 &= \ln(z-d) - \psi_m, & a_1 &= u_*/k, & b_1 &= -a_1 \times \ln z_0 \\ x_2 &= \ln(z-d) - \psi_h, & a_2 &= \theta_*/k, & b_2 &= -a_2 \times \ln z_t + \theta_0 \end{aligned}$$

L 为 Obukhov 长度,表示为: $L = -\frac{u_*^3 \theta}{kg \overline{w'\theta'}} = \frac{\overline{T}u_*}{kg\theta_*}$, $g=9.8\text{m/s}^2$ 为重力加速度, $\overline{w'\theta'}$ 为感热通量,在实际运

算过程中 u_* 和 θ_* 都根据 a_1 和 a_2 通过迭代来表达,并没有直接求出。

当 $z/L < 0$ 时,不稳定层结:

$$\psi_m = \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) + 2\ln\left(\frac{1+x}{2}\right) - 2\arctg x + \frac{\pi}{2}, \psi_h = 2\ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right), x = \left(1 - 16\frac{z-d}{L}\right)^{\frac{1}{4}},$$

当 $z/L > 0$ 时,稳定层结, $\psi_m = \psi_h = -5\frac{z-d}{L}$,

当 $z/L = 0$ 时,中性层结, $\psi_m = \psi_h = 0$ 。

将 d 以一定步长在一定范围内变化,分别拟合风速和温度廓线,计算得到一系列 z_0 和拟合相关系数 (R), R 最高时的 d 所对应的 z_0 即为最终结果。由于采用最小二乘法对 4 层高度资料进行回归拟合,计算结果将出现一些异常值,因此需要对其进行有效性筛选,采用原则如下:剔除 d 值大于最低层观测高度和小于 0 的数据;剔除相关系数小于 0.90 的计算结果。

2 结果分析

蔡福等^[33]研究认为,玉米拔节前 d 值表现出逐渐减小的趋势,与实际情况不符,可能是由该阶段玉米株高和冠层覆盖度都很小,动量可以直接下传到地表所致,因此在风速廓线方程中可能无须考虑 d 。为证明此判断,在拔节前分别考虑 d 存在或不存在进行最小二乘回归拟合,对所求得的 u_* 分别与实测值建立相关关系 (图 2)。2006 年和 2007 年拔节前,当不考虑 d 时,求得的 u_* 与实测值更为接近,证明了上述判断的正确性。

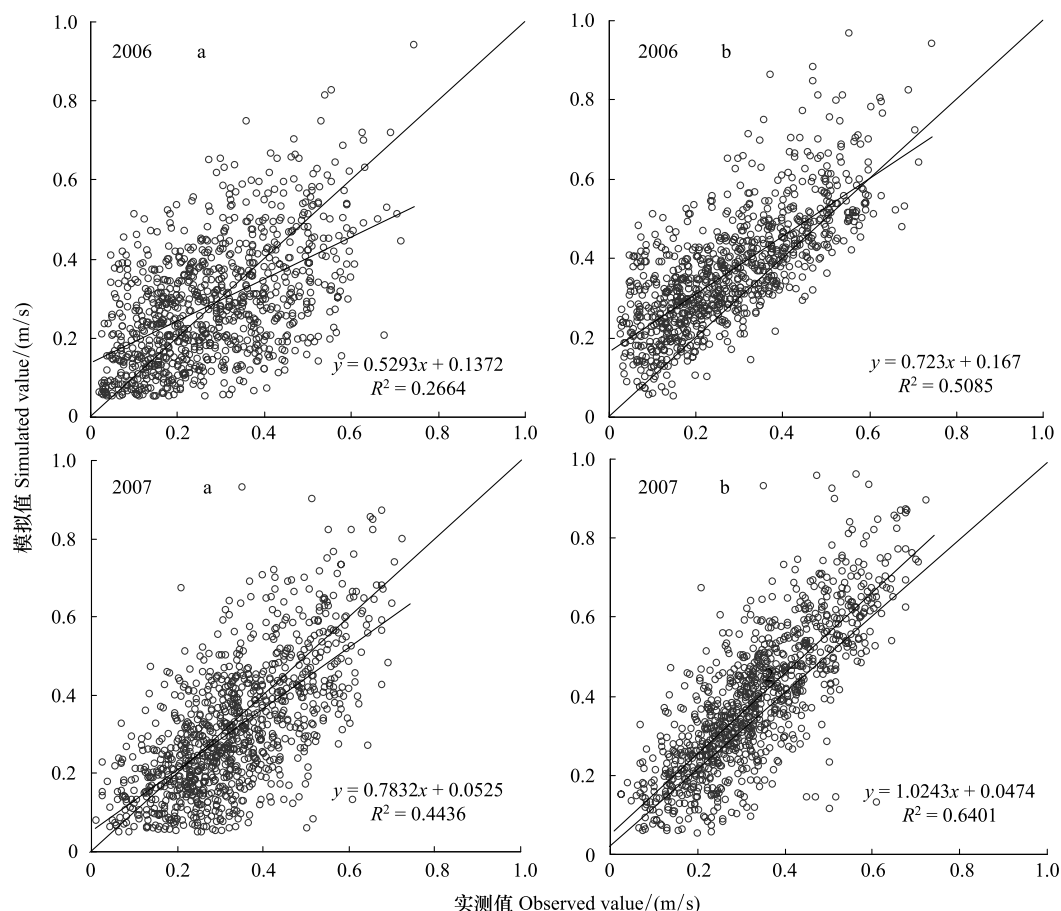


图 2 2006 和 2007 年考虑 d (a) 和不考虑 d (b) 时求得 u_* 与实测值的相关关系比较

Fig. 2 Comparison of relationships between simulated and observed u_* with d (a) and without d (b) in 2006 and 2007

2.1 z_0 和 d 的日动态

由于一天中大气层结状态变化较大, z_0 和 d 的日变化波动较剧烈, 单个时刻计算结果只能反映瞬时状态, 因此利用一天中各时刻平均值来反映 z_0 和 d 的日平均状态。对求得的日均值分析发现, 2006 年和 2007 年 d 值在拔节日期(6 月 24 日和 6 月 20 日)以后的 10d 左右仍出现异常值, 可能由于拔节期需持续一段时间, 玉米群体未完全完成拔节使冠层不足以达到 d 值出现密度, 因此把不考虑 d 存在的初始日期分别向后延至 7 月 3 日和 6 月 28 日。经重新计算, 分别得到 2006—2008 年生长季 z_0 和 d 日均值动态变化曲线(图 3)。

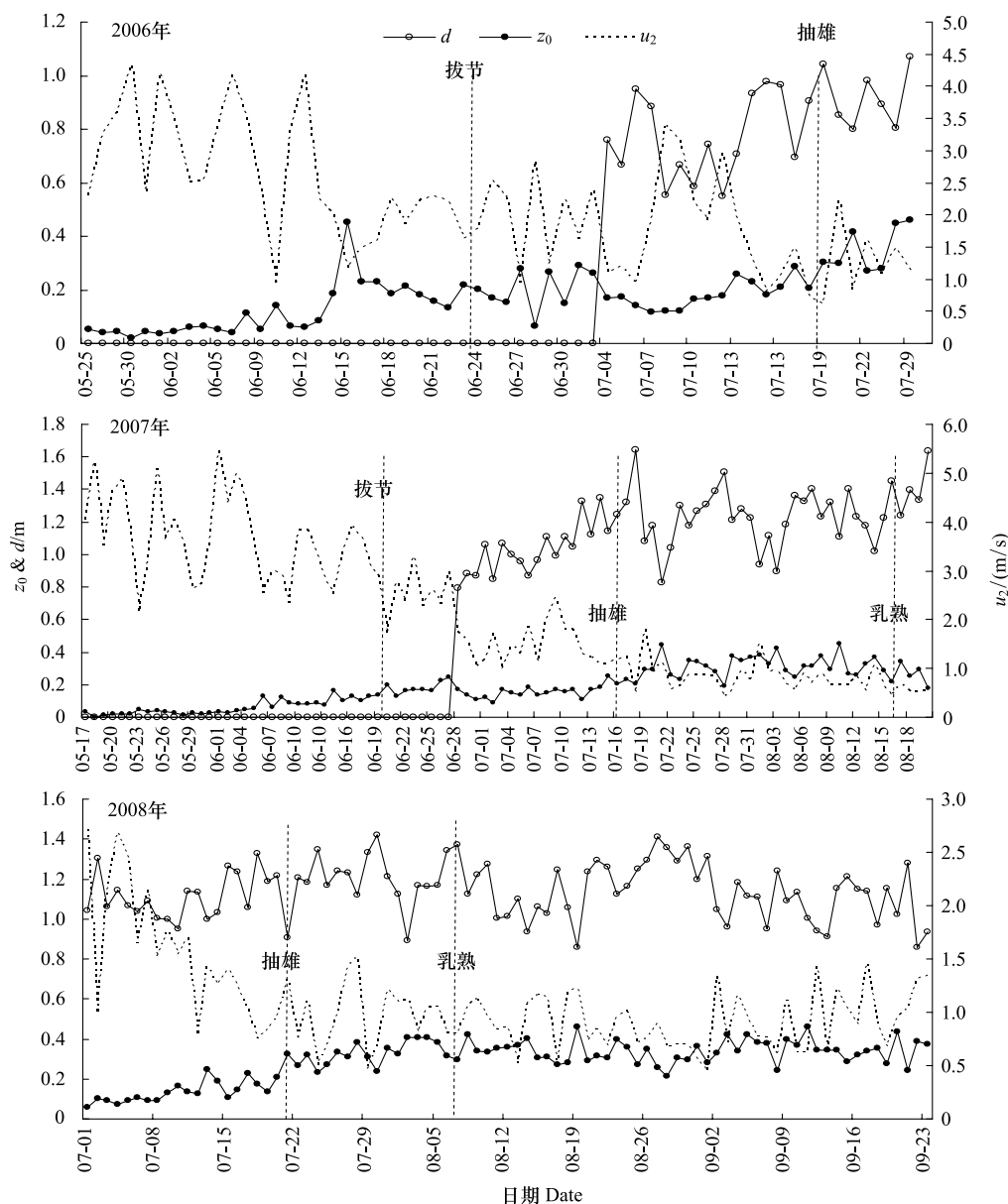


图 3 2006—2008 年玉米生长季 z_0 和 d 的日动态

Fig.3 Diurnal variations of z_0 and d during maize growing season from 2006 to 2008

2006 年玉米生长季 z_0 值在 0.02—0.46m 范围随玉米发育进度而逐渐增大, 其中在七叶期(6 月 8 日)以前, z_0 值在 0.10m 以下波动, 从七叶至拔节 z_0 值在 0.10—0.20m 范围变化, 拔节至抽雄 z_0 处于 0.20—0.30m, 抽雄后逐渐增大至 0.46m。从整个时段看, z_0 在各个时期都有较大波动, 其中 6 月 15 日出现一个极高值, 7 月 7—10 日出现低值, 相对应的日平均风速很小, 与之具有较好的负相关关系, 从 d 值出现开始二者相关性减弱, 而在抽雄期前后, 这种关系变得不明显。同时, 随着 d 值的出现 z_0 有一个明显的减小过程, 然后逐渐增大,

这主要是当 d 值出现后, z_0 不再从地表而是从 d 高度算起的原因。 d 值的变化总体上是随玉米增高而增大, 变化范围从 0.50m 至 1.00m, 与风速具有较明显的负相关关系。

2007 年玉米七叶(6 月 1 日)以前 z_0 在 0.00—0.05m 间波动增大, 从七叶至拔节后 10d 左右 d 值出现前这一阶段, z_0 由 0.05m 增大至 0.24m, d 出现后, z_0 表现为先减小后增大, 从 d 值出现至抽雄(7 月 16 日) z_0 平稳波动, 增大趋势不明显, 而此时 d 值随着植株高度的增加而明显增大, 随着玉米群体抽雄的逐渐完成, z_0 不断增大, 从抽雄至 8 月 3 日, 由 0.20m 增大至 0.43m, 然后经乳熟(8 月 15 日)波动减小。 z_0 值达到 0.30m 左右的高值阶段以后, d 值随风速的波动而剧烈变化, 但总体上没有表现出增高或减低趋势, 这一情况可能由于抽雄后冠层高度基本不变, LAI 随着叶片的枯萎凋落而减小, d 值以受风速影响为主而引起, 而 z_0 的减小则因 LAI 在乳熟前几天开始减小所致。

2008 年 7 月 6 日之前 d 值有一个较明显的随 h 增大而减小的过程, 而且与风速没有负相关关系, 这一时段也是拔节后的 10d 左右, 与前两年情况类似, 说明这一阶段也不需要考虑 d 值的存在。从 7 月 7 日至抽雄, z_0 和 d 都呈波动增大趋势, 抽雄至乳熟, z_0 仍持续增大, 而 d 值随风速平稳波动, 无明显变化, 乳熟后, z_0 波动变化, d 值在 8 月末开始波动减小, 可能因 LAI 减小或风速变化所引起。

从 3a 情况看, d 值在拔节后 10d 左右开始出现, 这一时期玉米株高在 1.40m 左右, z_0 值在抽雄前一般在 0.20m 以下, 在乳熟前后达到最大, 约为 0.40m, d 值开始出现后 z_0 有所减小。 d 值在抽雄前为 0.80—1.00m, 抽雄后为 1.00—1.40m。郭建侠等^[11] 研究显示, 玉米七叶期之前 $z_0 = 0.27\text{m}$, $d = 0.00\text{m}$, 七叶至抽雄 $z_0 = 0.16\text{m}$, $d = 0.61\text{m}$, 抽雄至成熟 $z_0 = 0.21\text{m}$, $d = 2.20\text{m}$, 从量级和变化趋势上看, 本研究结果与其一致, 在数值上多数时期比较接近, 而抽雄至成熟阶段, 本研究 d 值较其明显偏小, 可能是因其研究地段附近有高大建筑物导致计算结果偏大的缘故。本研究中 d 出现时 z_0 有所减小这一变化趋势也与之一致。

2.2 z_0 和 d 日均值与相关影响因子的关系

2.2.1 z_0 和 d 日均值与风速的关系

为了区分 d 值出现前后 z_0 、 d 及 $z_0 + d$ 与风速关系, 以 d 值出现日期为界, 分别讨论。

由图 4 可见, d 值出现前, z_0 与 2m 高度风速 (u_2) 呈显著的负指数关系 (样本数 $n = 36$, $R^2 = 0.6618$, $P < 0.01$), 但 d 值出现后关系明显减弱 (样本数 $n = 22$, $R^2 = 0.2105$, $P < 0.05$), 说明受 d 影响很大。 d 与风速呈较

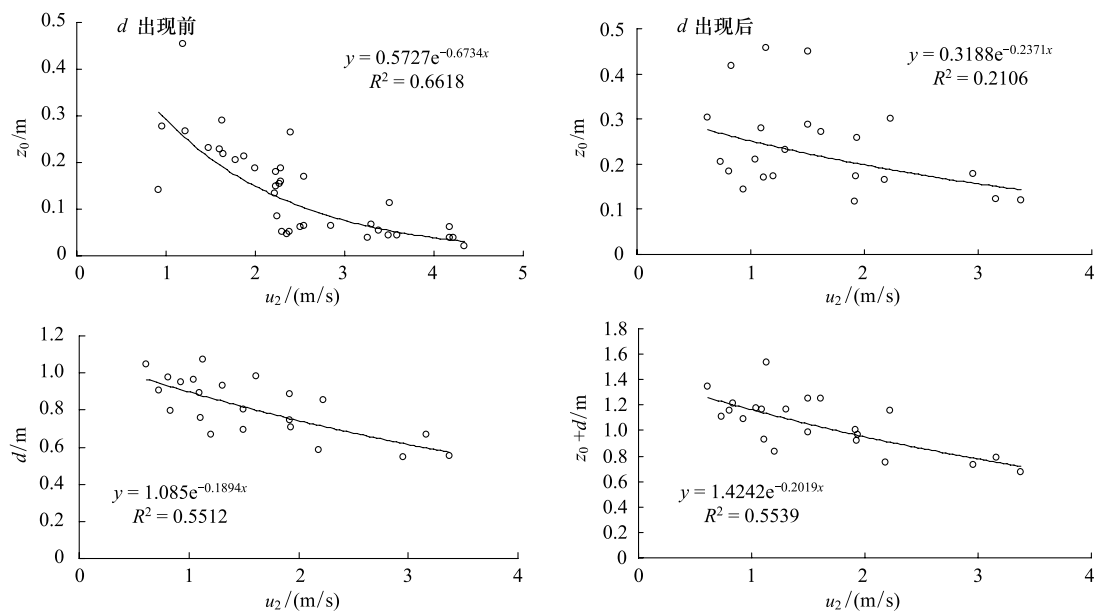


图 4 2006 年玉米生长季 z_0 和 d 与风速关系

Fig.4 Relationships between wind speed and z_0 , d , respectively, during maize growing season in 2006

显著的负指数关系 ($R^2=0.5512, P<0.05$), 而 z_0+d 与风速负指数关系有所增强 ($R^2=0.5539, P<0.05$), 表明风速对 z_0 和 d 各自单独影响要小于对二者之和的影响, 蔡福等^[33] 利用半小时资料得到 z_0+d 与风速呈负对数关系, 与本研究产生差异的原因一方面是时间尺度的不同, 同时求算 z_0 方法及考虑层结状态也有所不同, 但表现的显著负相关关系是一致的。有研究表明^[17], z_0 和 d 之间存在负相关关系, 而本研究结果显示二者相关关系不明显, 说明它们之间的关系并不固定, 受冠层高度、LAI 和风速影响而变化。由图 4 还可以发现, 因后者 LAI 大于前者, z_0 随风速增大而减小的速率要小于前者, 表明随着 LAI 的增大, z_0 受风速影响有所下降。

由图 5 可见, d 值出现前, z_0 与风速呈负指数关系 (样本数 $n=42, R^2=0.3890, P<0.01$), d 值出现后二者相关系数有所减小 (样本数 $n=54, R^2=0.2204, P<0.01$), d 与风速关系呈极显著负指数关系 ($R^2=0.4133, P<0.01$), 而 z_0+d 与风速的 R^2 为 0.5255, 明显大于前者, 表明风速对 z_0 和 d 的综合作用大于对各自的影响。通过图 5 也可以发现, 随着 LAI 的增大, z_0 随风速增大而减小的速率减小。由图 6 可见, 2008 年 z_0 与风速以

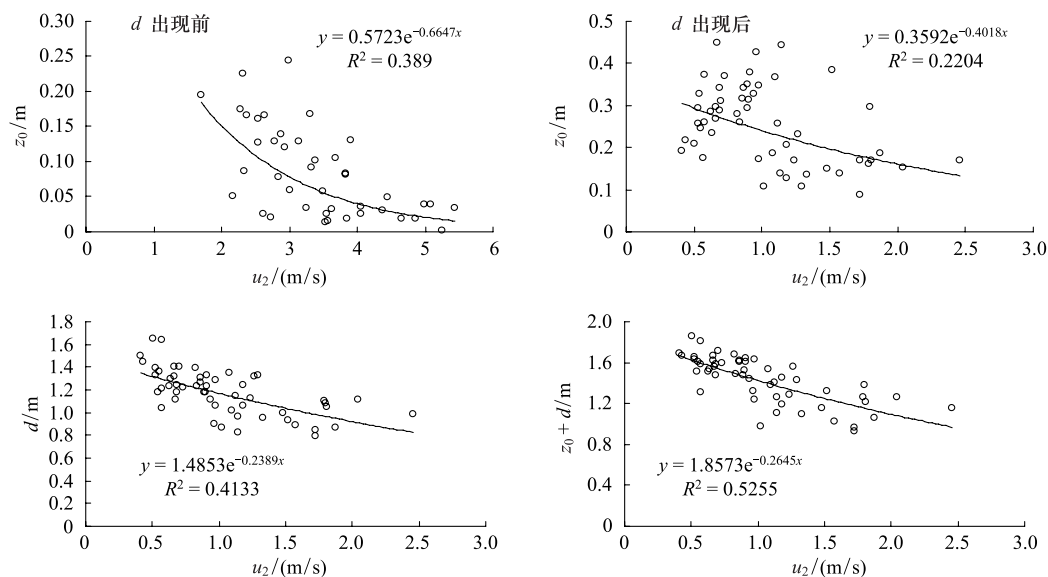


图 5 2007 年玉米生长季 z_0 和 d 与风速关系

Fig.5 Relationships between wind speed and z_0, d , respectively, during maize growing season in 2007

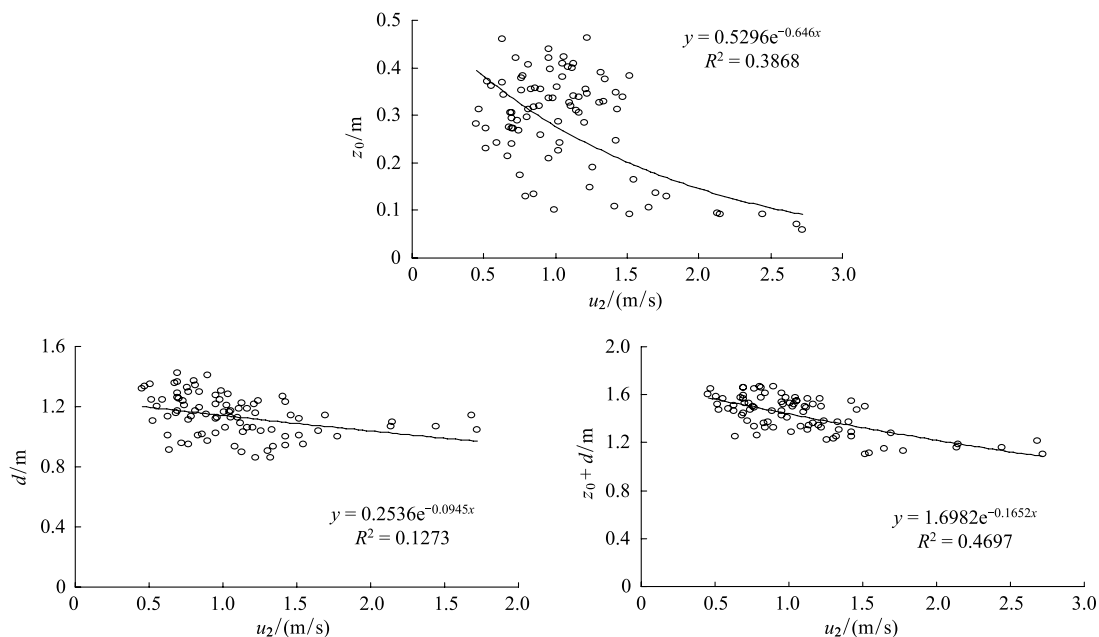


图 6 2008 年玉米生长季 z_0 和 d 与风速关系

Fig.6 Relationships between wind speed and z_0, d , respectively, during maize growing season in 2008

及 d 与风速的关系都为负指数关系(样本数 $n=76$, $R^2=0.3868$ 和 $R^2=0.1273$, $P<0.01$), 而 z_0+d 与风速的负指数关系更为显著($R^2=0.4697$, $P<0.01$), 进一步表明风速对 z_0 和 d 的综合作用大于对各自的影响。

总的来看, 当 d 值不存在时, z_0 与风速负指数关系更为显著, 而当 d 值出现后风速与 z_0+d 关系明显大于与它们各自的关系。

2.2.2 z_0 和 d 与 h 及 LAI 的关系

图 7 分别为 2006 年玉米不同生长阶段 z_0 和 d 与 LAI 和 h 的关系, 其中 d 出现前 z_0 分别与 LAI ($n=36$, $R^2=0.4353$, $P<0.01$) 和 h ($R^2=0.4891$, $P<0.01$) 呈显著的对数关系。当 d 值出现以后, z_0 与 LAI 和 h 都呈极显著的指数关系($n=22$, $R^2=0.6115$ 和 $R^2=0.6911$, $P<0.01$), 这与蔡福等^[33] 在中性层结条件下所计算得到 z_0 与 LAI 和 h 的关系一致, 表明这一结果在 z_0 不同计算方法间具有普适性; d 与 LAI 和 h 呈显著的线性和指数关系

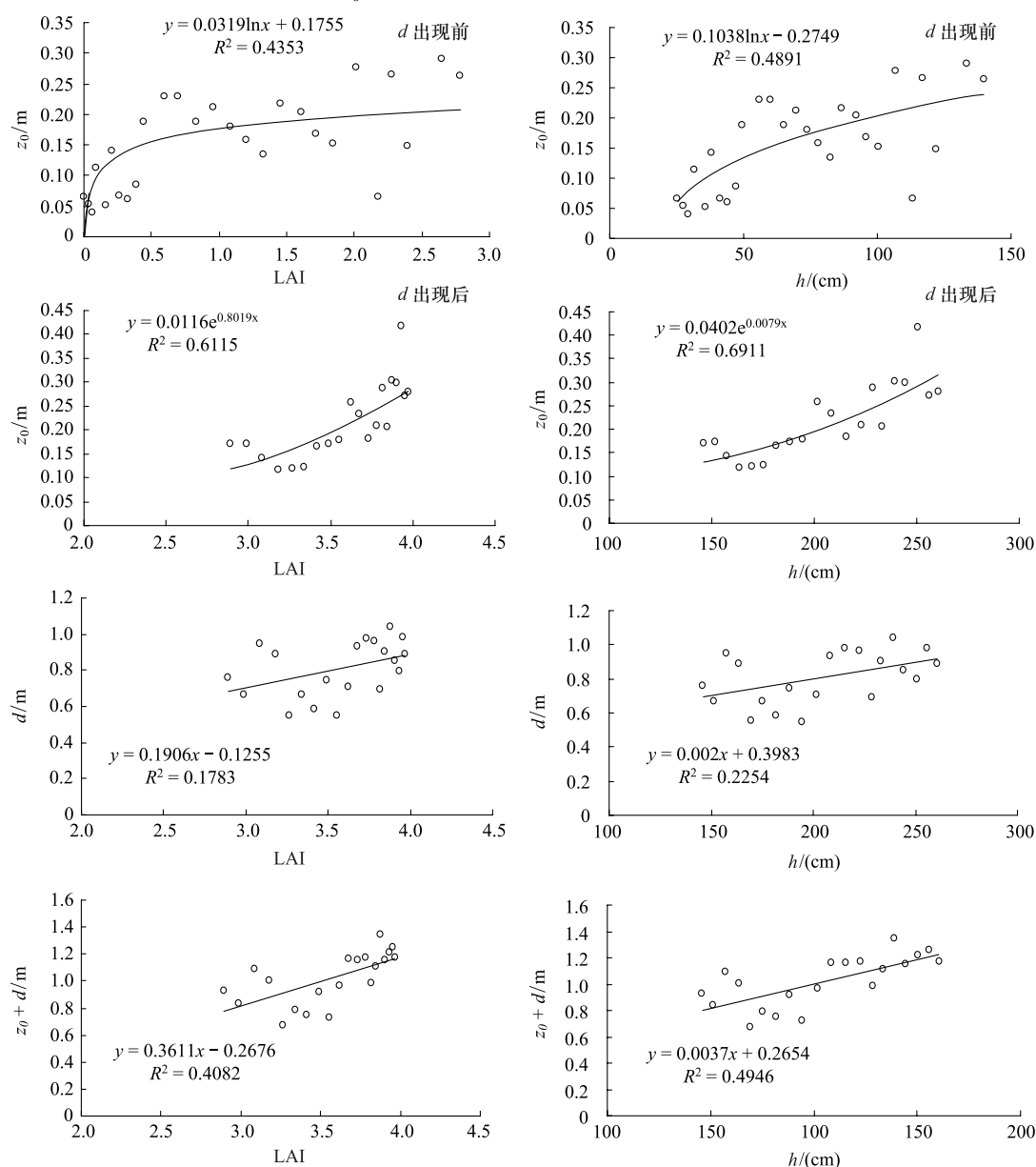


图 7 2006 年玉米生长季 z_0 和 d 与 LAI 和 h 关系

Fig.7 Relationships between LAI, h and z_0 , d , respectively, during maize growing season in 2006

a1: d 出现前 z_0 与 LAI; a2: d 出现前 z_0 与 h ; b1: d 出现后 z_0 与 LAI; b2: d 出现后 z_0 与 h ; c1: d 与 LAI; c2: d 与 h ; d1: $z_0 + d$ 与 LAI; d2: $z_0 + d$ 与 h

($R^2=0.1783$ 和 $R^2=0.2254, P<0.05$), 指数关系略显著; z_0+d 与 LAI 和 h 呈极显著的线性和指数关系 ($R^2=0.4082$ 和 $R^2=0.4946, P<0.01$), 相关性明显小于 z_0 与 LAI 和 h 。通过对上述关系比较发现, LAI 和 h 对 z_0 的影响要大于 d 和 z_0+d , h 对 z_0 和 d 影响的贡献大于 LAI。 z_0 和 d 与 h 之比即 d/h 和 z_0/h 的平均值分别为 0.40 和 0.10。

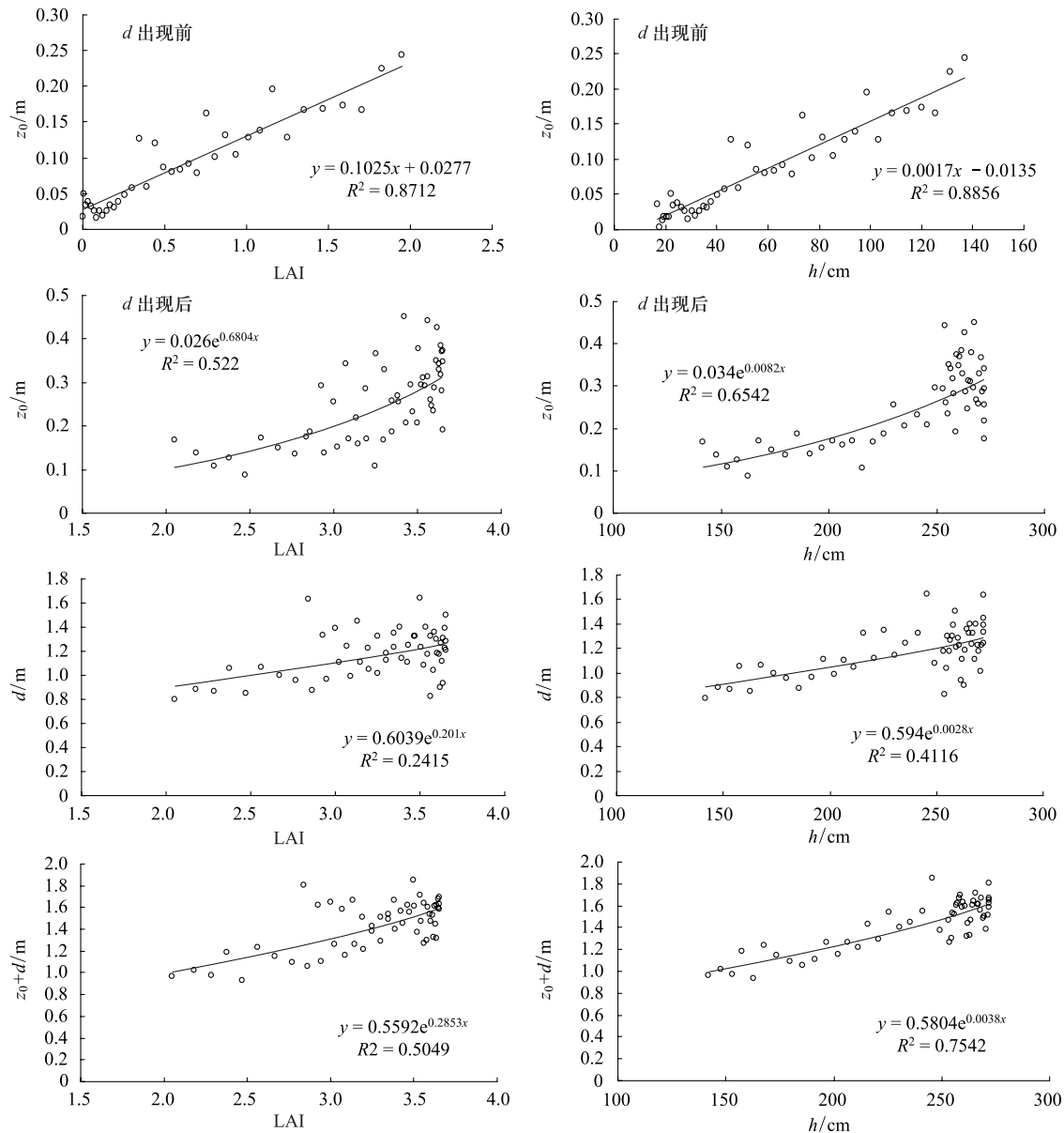


图8 2007年玉米生长季 z_0 和 d 与 LAI 和 h 关系

Fig.8 Relationships between LAI, h and z_0 , d , respectively, during maize growing season in 2007

图8分别为2007年玉米不同生长阶段 z_0 和 d 与 LAI 和 h 的关系, 其中在 d 值出现之前, z_0 与 LAI 和 h 都呈极显著线性正相关关系 ($n=42, R^2=0.8712$ 和 $R^2=0.8856, P<0.01$)。 d 值出现后, z_0 与 LAI 和 h 都呈极显著指数正相关关系 ($n=54, R^2=0.5220$ 和 $R^2=0.6542, P<0.01$); d 与 LAI 和 h 都呈极显著指数正相关关系 ($R^2=0.2415$ 和 $R^2=0.4116, P<0.01$); z_0+d 与 LAI 和 h 也表现出极显著指数正相关关系 ($R^2=0.5049$ 和 $R^2=0.7542, P<0.01$)。 d/h 和 z_0/h 的平均值分别为 0.50 和 0.12。通过对上述关系的比较发现, d 值出现后, LAI 和 h 对 z_0 的影响要大于 d , LAI 对 z_0 影响略大于 z_0+d , h 对 z_0 影响明显小于 z_0+d ; h 对 z_0 和 d 影响的贡献大于 LAI。

由于2008年资料时间序列较长, 且主要为 d 值出现以后, 为了进一步细化不同生育期 h 和 LAI 对 z_0 和 d

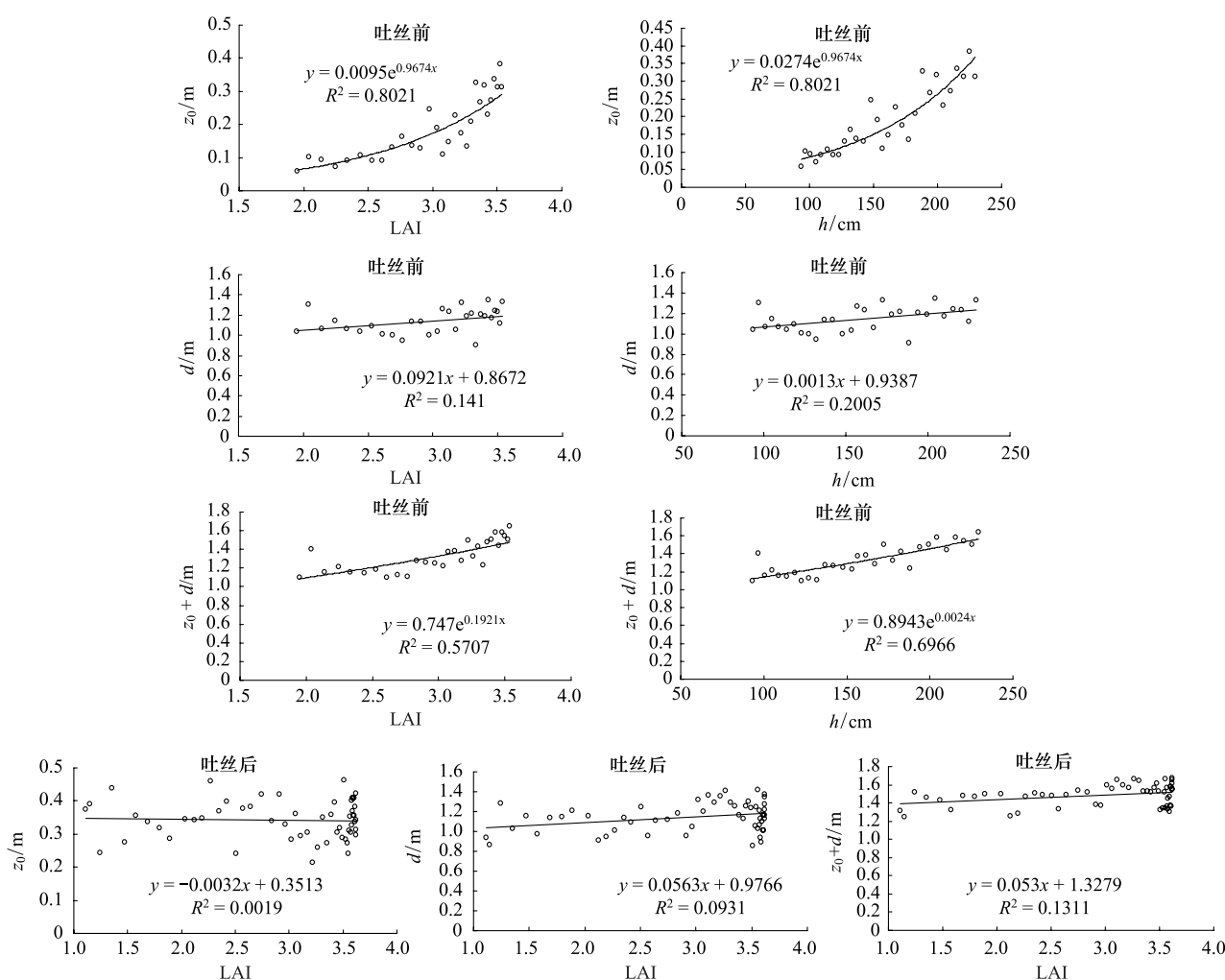


图9 2008年玉米生长季 z_0 和 d 与LAI和 h 关系

Fig.9 Relationships between LAI, h and z_0 , d , respectively, during maize growing season in 2008

的影响,选择 h 和LAI达到最大时为分界点,分别研究 h 逐渐增大对 z_0 和 d 的影响以及 h 达到最大后处于稳定状态时对 z_0 和 d 的影响。有研究表明^[32],玉米吐丝期LAI达到最大,在吐丝至乳熟期相对稳定,锦州地区多年观测结果显示,一般玉米抽雄后7—10d进入吐丝期。因此,本研究中2008年玉米吐丝期为7月29日。图9分别给出吐丝期前后LAI和 h 与 z_0 和 d 的相关关系。

在玉米LAI达到最大前, z_0 随LAI和 h 的增大呈指数增大($n=29$, $R^2=0.8021$ 和 $R^2=0.8294$, $P<0.01$),与2007年 d 值出现后的整个时段(包括吐丝后一段时间)的 R^2 相比明显偏大,说明 z_0 与LAI和 h 的指数关系在吐丝前最为明显; d 值随LAI和 h 的增大而线性增大($R^2=0.1410$ 和 $R^2=0.2005$, $P<0.05$); z_0+d 与LAI和 h 呈极显著指数正相关关系($R^2=0.5707$ 和 $R^2=0.6966$, $P<0.01$),其 R^2 明显小于 z_0 与LAI和 h 的 R^2 ,表明 z_0 是LAI和 h 的主要影响因子。在吐丝后, h 处于稳定, z_0 与LAI无明显关系,其变化可能受LAI和风速共同作用。 d 值与LAI呈线性正相关关系($n=56$, $R^2=0.0931$, $P<0.05$),而 z_0+d 与LAI线性正相关关系更为显著($R^2=0.1311$, $P<0.01$)。总之,当 h 达到稳定以后, z_0 和 d 与LAI相关性有所减弱,风速对它们的贡献作用增大。 d/h 和 z_0/h 的平均值分别为0.54和0.14。

LAI和 h 在玉米不同生育期关系不同,为进一步明确 z_0 和 d 与它们的关系,用 h 达到最大值之前的 d/h 和 z_0/h 与LAI的关系来阐明。从图10可以看出,随LAI的增大 d/h 逐渐减小,说明 d 随LAI增大速度慢于 h ,与赵晓松^[17]等针对森林的研究结果正相反,分析原因认为,森林冠层高度是不变的, d/h 与LAI的关系实

际上就是 d 与 LAI 的关系,而对玉米农田而言,冠层高度随 LAI 的增大而不断增大, d/h 与 LAI 的关系较前者更为复杂,这也反映出多年生的森林植被冠层与一年生玉米农田植被冠层下垫面性质的差异性。 z_0/h 随 LAI 的增大而增大,表明 z_0 随 LAI 增大速度快于 h ,LAI 对 z_0 影响大于 h ,这一结果与周艳莲等^[18] 针对冬小麦和红松阔叶林 LAI 小于 4.0 时的结论一致,说明 z_0/h 与 LAI 的关系在不同下垫面具有一致性。

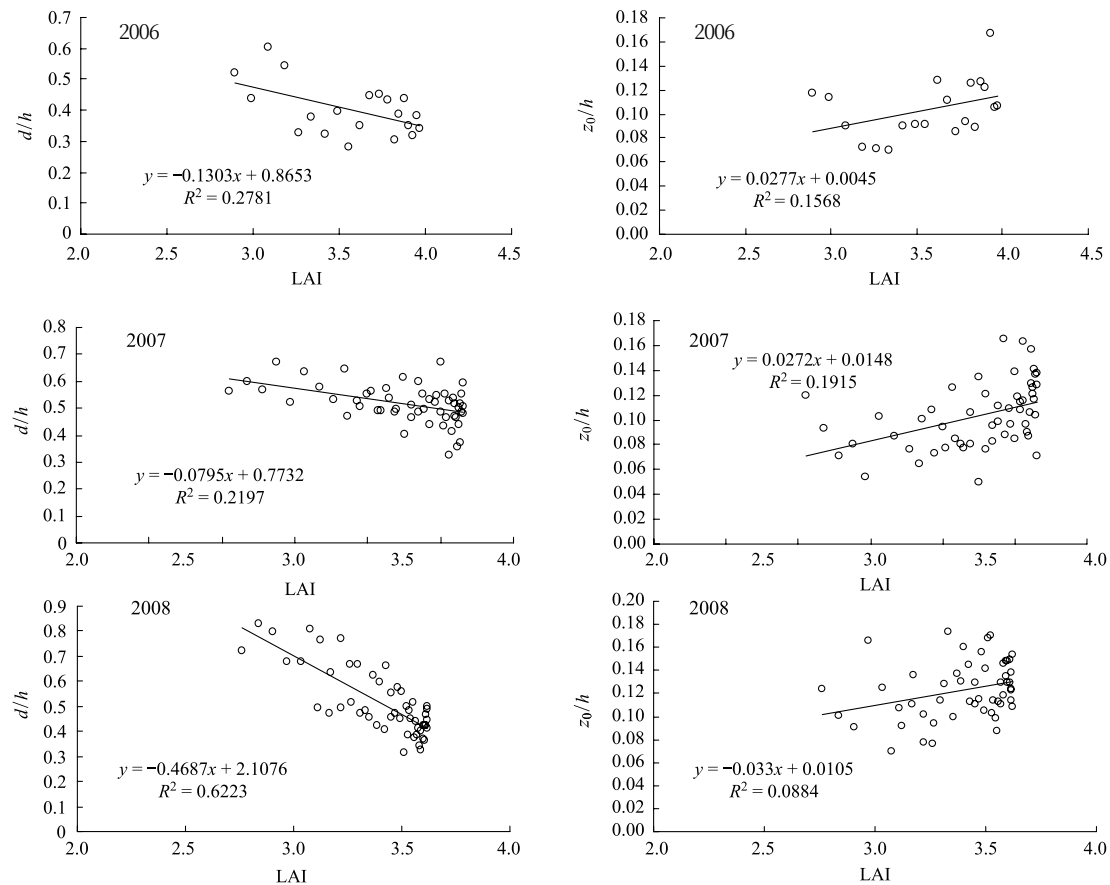


图 10 2006—2008 年当 h 达到最大值以前 z_0/h 和 d/h 与 LAI 的关系

Fig.10 Relationships between z_0/h , d/h and LAI before h reaches its maximum from 2006 to 2008

3 结论

(1) d 值在玉米拔节后 10d 左右,株高约为 1.40m 时开始出现; z_0 值在抽雄前小于 0.20m,在乳熟前后达到最大,约为 0.40m, d 值开始出现后 z_0 有所减小。 d 值在抽雄前为 0.80—1.00m,抽雄后为 1.00—1.40m。

(2) 在 d 值出现之前, z_0 与风速负指数关系显著,与 LAI 和 h 呈极显著的线性正相关关系,而当 d 值出现后,风速与 z_0+d 关系明显大于与它们各自的关系。 d 与 LAI 和 h 呈显著的指数正相关关系,LAI 和 h 对 z_0 的影响大于 d 和 z_0+d , h 对 z_0 、 d 和 z_0+d 影响的贡献大于 LAI。 d 值出现后至 h 达到最大,上述各种关系最为显著,之后各种关系变得不明显。

(3) d/h 和 z_0/h 分别为 0.40—0.54 和 0.10—0.14,其中前者略小于已有研究的 0.70^[35] 和 0.68^[36],分析原因认为,已有研究采用风洞试验,粗糙元采用刚性材质,不会因风的作用而弯曲,而本研究中玉米植株具有一定韧性,尤其是顶端比较纤细使得韧性更强,植株弯曲幅度随风速增大而增大,这导致一定风速条件下冠层的基础高度要低于实际植株高度。而本研究中的 z_0/h 在数值上与 0.10^[37] 和 0.08^[38] 比较相近。当玉米吐丝期后, h 不再变化,这一阶段 z_0/h 约为 0.12,这与 CLM3.0^[20] 模型相一致。

利用本研究中 z_0 、 d 与相关影响因子的动态关系可建立基于风速、 h 及 LAI 的玉米农田动态参数化模型,将有效改善现有陆面模型动力参数化方案,这种参数化方案的改进可对陆面过程模型中哪些变量的模拟产生

影响、模拟精度改善情况如何等均需深入探讨。本研究由于资料的不连续以及在模拟 LAI 和 h 时产生的误差都将给各类关系的确定造成影响,因此,加强资料的收集,确保实测资料的连续性和准确性尤为重要。由于空气动力学参数与植被高度和密度关系密切^[4,15],而同一类型植被 LAI 和 h 相关性极为显著,在建立参数化模型时无法被同时考虑,因此,为实现二者真正意义上的相互独立,开展多种植被类型冠层结构参数的观测十分必要。

致谢:周艳莲博士提供计算程序并在研究方法上给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Stull R B. An introduction to boundary layer meteorology. New York: Kluwer Academic Publishers,1988:378.
- [2] Thom A S, Stewart J B, Oliver H R, Gash J H C. Comparison of Aerodynamic and Energy budget estimates of fluxes over a pine forest. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1975, 101:93-105.
- [3] Tajchman S J. Comments on measuring turbulent exchange within and above forest canopy. Bulletin of the American Meteorological Society, 1981, 62:1550-1559.
- [4] Liu X P, Dong Z B. Aerodynamic Roughness of Gravel Beds. Journal of Desert Research, 2003,23(1):37-44.
- [5] He Q, Miao Q L, Zhang R J, Ali Mamtimin, Liu X C, Huo W. Analysis on aerodynamic roughness in XiaoTang in the Taklimakan desert. Journal of Desert Research, 2008,28(6):1011-1016.
- [6] Wang T. Research Progress on Interaction between Development of Land Surface System and Climate change and Human Activity. Journal of Desert Research, 2007,27(5):711-718.
- [7] Zhang K C, Qu J J, Dong Z B, Ju R P, Fang H Y. Effect of wind speed fluctuation on sand transport rate. Journal of Desert Research, 2006,26(3):336-340.
- [8] Zhang Y J, Shen X D. Simulation analysis of vegetation covered surfaces aerodynamics roughness length and zero displacement. Journal of Desert Research, 2008,28(1):21-26.
- [9] Qiu Y J, Wu F J, Liu Z. Problem of the gradient method to study aerodynamic roughness. Transactions of Atmospheric Sciences, 2010, 33(6): 697-702.
- [10] Chen J Y, Wang J M, Guang T M. An independent method to determine the surface roughness length. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1993,17(1):21-26.
- [11] Guo J X. Characters and parameterization comparisons of turbulent transfer over maize field on North China Plain. Doctoral Dissertation, 2006.
- [12] Li S S, Lv S H, Liu Y P. Determination of aerodynamical parameter in maqu area in the upper reach of yellow river and its application in land surface process model. Plateau Meteorology, 2010,29(6):1408-1413.
- [13] Molion L C B, Moore C J. Estimation the zero-plane displacement for tall vegetation using a mass conservation method. Boundary Layer Meteorology, 1983,26(7):115-125.
- [14] Qin W H. Aerodynamic parameters of crop canopies estimated with a center-of pressure technique. Acta Meteorological Sinica, 1994,52(1):99-106.
- [15] Dong Z B, Chen G T. Research progress of Biological sand control physics. Journal of desert research, 1996,16(3):44-48.
- [16] Liu H P, Liu S H. Determination of aerodynamic parameters of changbai mountain forest. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1997,33(4):522-528.
- [17] Zhao X S, Guan D X, Wu J B, Jin C J, Han S J. Zero-plane displacement and roughness length of the mixed forest of broad-leaved and Korean-pine in Changbai Mountain. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5):84-88.
- [18] Zhou Y L, Sun X M, Zhu Z L, Zhang R H, Tian J, Liu Y F, Guan D X, Yuan G F. Dynamic changes of several different underlying surfaces roughness and their impacts on flux mechanism model simulation. Science in China Series D-Earth Sciences, 2006,36(Supplement):244-254.
- [19] Liu S H, Li X R, Liu L C, Zhang J G. Study of land-surface processes parameterizations model. Journal of Desert Research, 2001,21(3):303-311.
- [20] Oleson K W, Dai Yongjiu, Bonan G, Bosilovich M, Dickinson R, Dirmeyer P, Hoffman F, Houser P, Levis S, Niu G Y, Thornton P, Vertenstein M, Yang Z L, Zeng X B. Technical Description of the Community Land Model (CLM). NCAR Technical. Note- 461+STR, 2004, 173pp.

- [21] Ji J J. A climate-vegetation interaction model;simulating physical and biological processes at the surface. *Journal of Biogeography*, 1995,22, 445-451.
- [22] Fang Y L, Sun S F, Li Q, Chen W. The optimization of parameters of land surface model in arid region and the simulation of land-atmosphere interaction. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*,2010,34(2):290-306.
- [23] Chen B, Xu X D, Ding Y G, Shi X H. The impact of heterogeneity of land surface roughness length on estimation of turbulent flux in model. *Plateau Meteorology*, 2010,29(2):340-348.
- [24] Giorgi F, Francisco R, Pal J. Effects of subgrid scale topography and land use scheme on the simulation of surface climate and hydrology. Part I: Effects of temperature and water vapor disaggregation. *Journal of Hydrometeor*,2003,4:317-333.
- [25] He Y F, Zhang H S, Liu M X, Kang L. A study on determining aerodynamic parameters over gobi desert surface. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009,45(3) 439-443.
- [26] De bruin HAR, Verhoef A. A new method to determine the zero-plane displacement. *Boundary-layer Meteorology*,1997,82:159-164.
- [27] Zhong Z, Han S J. The Calculation of Aerodynamic Parameters of Korea Pine Canopy in Changbai Mountains. *Journal of Nanjing university(natural sciences)*, 2002,38(4):565-571.
- [28] Kimura R, Otsuki K, Kamichika M. Relationships between the zero-plane displacement and the roughness length over sorghum and alfalfa canopies. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1999,55:15-24.
- [29] Takagi K, Miyata A, Harazono Y, Ota N, Komine M, Yoshimoto M. An alternative approach to determining zero-plane displacement and its application to a lotus paddy field. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003,115:173-181.
- [30] Mao Y H, Liu S H, Li J. Study of aerodynamic parameters for different underling surfaces. *Acta Meteorologica Sinica*,2006, 64(3):325-334.
- [31] Li Y J, Xu Z Z, Wang Y L, Zhou L, Zhou G S. Latent and sensible heat fluxes and energy balance in a maize agroecosystem. *Journal of Plant Ecology*, 2007,31(6):1132-1144.
- [32] Wang L, Xie D T, Liu H L, Yang J. A universal growth model for maize leaf area index. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2004,26(3):303-311.
- [33] Cai F, Zhou G S, Li R P, Ming H Q. Dynamic characteristics of land surface parameters of rainfed maize fields in Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*,2011,30(3):494-501.
- [34] Zhou Y L, Sun X M, Zhu Z L, Wen X F, Tian J, Zhang R H. Comparative research on four typical surface roughness length calculation methods. *Geographical Research*, 2007,26(5):888-897.
- [35] Mu Q S, Wang J C, Miao T D. On the dynamical characteristics of the roughness in the turbulent boundary layer. *Acta mechanica sinica*,2003,35(2):129-134.
- [36] Dai Y J, Zeng X B, Dickinson R E, Baker I, Bonan G B, Bosilovich M G, Denning A S, Dirmeyer P A, Houser P R, Niu G Y, Oleson K W, Schlosser C A and Yang Z L. The common land model. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2003,84(8):1013-1023.
- [37] Shi X F, Xia J X, Ji Z W. A Review: The study in relationship between aerodynamic roughness length and the characteristics of vegetation. *Journal of the CUN(Natural Sciences Edition)*,2006,15(3):218-225.
- [38] Qin W H. Aerodynamic parameters of crop canopies estimated with a center-of pressure technique. *Acta Meteorological Sinica*,1994,52(1):99-106.

参考文献:

- [4] 刘小平,董治宝.砾石床面的空气动力学粗糙度. *中国沙漠*,2003,23(1):37-44.
- [5] 何清,缪启龙,张瑞军,艾力,买买提明,刘新春,霍文.塔克拉玛干沙漠肖塘地区空气动力学粗糙度分析. *中国沙漠*, 2008,28(6):1011-1016.
- [6] 王涛. 干旱区主要陆表过程与人类活动和气候变化研究进展. *中国沙漠*,2007,27(5):711-718.
- [7] 张克存,屈建军,董治宝,俎瑞平,方海燕.风沙流中风速脉动对输沙量的影响. *中国沙漠*,2006,26(3):336-340.
- [8] 张雅静,申向东.植被覆盖地表空气动力学粗糙度与零平面位移高度的模拟分析. *中国沙漠*,2008,28(1):21-26.
- [9] 邱玉珺,吴风巨,刘志.梯度法计算空气动力学粗糙度存在的问题. *大气科学学报*,2010,33(6):697-702.
- [10] 陈家宜,王介民,光田宁. 一种确定地表粗糙度的独立方法. *大气科学*,1993,17(1):21-26.
- [11] 郭建侠.华北玉米下垫面湍流输送特征及参数化方案比较研究.博士学位论文.2006.
- [12] 李锁锁,吕世华,柳媛普.黄河上游玛曲地区空气动力学参数的确定及其在陆面过程模式中的应用. *高原气象*, 2010,29(6):1408-1413.

- [15] 董治宝,陈广庭.生物防沙物理学研究进展.中国沙漠,1996,16(3):44-48.
- [16] 刘和平,刘树华.森林冠层空气动力学参数的确定.北京大学学报:自然科学版,1997,33(4):522-528.
- [17] 赵晓松,关德新,吴家兵,金昌杰,韩士杰.长白山阔叶红松林的零平面位移和粗糙度.生态学杂志,2004,23(5):84-88.
- [18] 周艳莲,孙晓敏,朱治林,张仁华,田静,刘允芬,关德新,袁国富.几种不同下垫面地表粗糙度动态变化及其对通量机理模型模拟的影响.中国科学(D辑),2006,36(增刊):244-254.
- [19] 刘树华,李新荣,刘立超,张景光.陆面过程参数化模型研究.中国沙漠,2001,21(3):303-311.
- [22] 房云龙,孙菽芬,李倩,陈文.干旱区陆面过程模型参数优化和地气相互作用特征的模拟研究.大气科学,2010,34(2):290-306.
- [23] 陈斌,徐祥德,丁裕国,施晓晖.地表粗糙度非均匀性对模式湍流通量计算的影响.高原气象,2010,29(2):340-348.
- [25] 何玉斐,张宏升,刘明星,康凌.戈壁下垫面空气动力学参数确定的在研究.北京大学学报,2009,45(3):439-443.
- [27] 钟中,韩士杰.长白山阔叶红松林冠层空气动力学参数的计算.南京大学(自然科学版)2002,38(4):565-571.
- [30] 茅宇豪,刘树华.不同下垫面空气动力学参数的研究.气象学报,2006,64(3):325-334.
- [31] 李玮君,许振柱,王云龙,周莉,周广胜.玉米农田水热通量动态与能量闭合分析.植物生态学报,2007,31(6):1132-1144.
- [32] 王玲,谢德体,刘海隆,杨军.玉米叶面积指数的普适增长模型.西南农业大学学报,2004,26(3):303-311.
- [33] 蔡福,周广胜,李荣平,明惠青.东北玉米农田下垫面参数动态特征.生态学杂志,2011,30(3):494-501.
- [34] 周艳莲,孙晓敏,朱治林,温学发,田静,张仁华.几种典型地表粗糙度计算方法的比较研究.地理研究,2007,26(5):888-897.
- [35] 幕青松,王建成,苗天德.粗糙度动力学特征的初步研究.力学学报,2003,35(2):129-134.
- [37] 石雪峰,夏建新,吉祖稳.空气动力学粗糙度与植被特征关系的研究进展,中央民族大学学报(自然科学版),2006,15(3):218-225.
- [38] 覃文汉.应用压力中心法确定农田空气动力参数.气象学报,1994,52(1):99-106.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 17 Sep. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The overview and prospect of chemical composition of plant cuticular wax ZENG Qiong, LIU Dechun, LIU Yong (5133)
- Research progresses in carbon budget and carbon cycle of the coastal salt marshes in China
..... CAO Lei, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (5141)

Autecology & Fundamentals

- Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils
..... ZHAO Yonggan, PANG Huancheng, LI Yuyi, et al (5153)
- Adaptations of dimorphic seeds and seedlings of *Suaeda salsa* to saline environments
..... LIU Yan, ZHOU Jiachao, ZHANG Xiaodong, et al (5162)
- Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress
..... DING Hong, ZHANG Zhimeng, DAI Liangxiang, et al (5169)
- The relationship between physiological indexes of apple cultivars and resistance to *Eriosoma lanigerum* in summer
..... WANG Xicun, ZHOU Hongxu, YU Yi, et al (5177)
- Physiological responses of *Salicornia bigelovii* to salt stress during the flowering stage
..... LIU Weicheng, ZHENG Chunfang, CHEN Chen, et al (5184)
- Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild medicinal mushroom *Perenniporia fraxinea*
..... LU Tie, BAU Tolgor (5194)
- The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an
example of slope and aspect BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (5201)
- Effect of different fertilizer combinations and straw return on microbial biomass and nitrogen-fixing bacteria community in a paddy
soil LIU Xiaoqian, TU Shihua, SUN Xifa, et al (5210)
- Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat
..... WANG Lifang, WANG Dexuan, SHANGGUAN Zhouping (5219)
- Effects of EP-1 on spatial memory and anxiety in *Mus musculus* WANG Xiaojia, QIN Tingting, HU Xia, et al (5228)

Population, Community and Ecosystem

- Gap characteristics in the mixed broad-leaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains
..... LIU Shaochong, WANG Jinghua, DUAN Wenbiao, et al (5234)
- Soil nitrogen and phosphorus stoichiometry in a degradation series of *Kobresia humilis* meadows in the Tibetan Plateau
..... LIN Li, LI Yikang, ZHANG Fawei, DU Yangong, et al (5245)
- An analysis of carbon flux partition differences of a mid-subtropical planted coniferous forest in southeastern China
..... HUANG Kun, WANG Shaoqiang, WANG Huimin, et al (5252)
- The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China
..... ZHAO Chengzhang, ZHANG Jing, SHENG Yaping (5266)
- Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan PENG Songyao, LI Xinzhen (5274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of selective cutting on vegetation carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling,
China MU Changcheng, LU Huicui, BAO Xu, et al (5286)
- CO₂ flux in the upland field with corn-rape seed rotation in the karst area of southwest China
..... FANG Bin, LI Xinqing, CHENG Jianzhong, et al (5299)
- Monitoring spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the North Tarim Basin using remote sensing and electromagn-
etic induction instruments YAO Yuan, DING Jianli, LEI Lei, et al (5308)
- Methane and nitrous oxide fluxes in temperate secondary forest and larch plantation in Northeastern China
..... SUN Hailong, ZHANG Yandong, WU Shiyi (5320)
- Butterfly diversity and vertical distribution in eastern Tianshan Mountain in Xinjiang
..... ZHANG Xin, HU Hongying, LÜ Zhaozhi (5329)

- Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors CAI Fu, ZHOU Guangsheng, MING Huiqing, et al (5339)
- The response process to extreme climate events of the household compound system in the northern slope of Tianshan Mountain LI Xiliang, HOU Xiangyang, DING Yong, et al (5353)
- Analysis on spatial-temporal heterogeneities of landscape fragmentation in urban fringe area; a case study in Shunyi district of Beijing LI Can, ZHANG Fengrong, ZHU Taifeng, et al (5363)
- Resource and Industrial Ecology**
- CPUE Standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery based on generalized linear Bayesian models LU Huajie, CHEN Xinjun, CAO Jie (5375)
- Spatial-temporal differentiation of water quality in Gufu River of Three Gorges Reservoir RAN Guihua, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (5385)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region; case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province ZHAO Xueyan, MAO Xiaowen (5397)
- Research Notes**
- The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea DU Mingmin, LIU Zhensheng, WANG Chunsheng, et al (5407)
- Immunotoxicity of marine pollutants on the clam *Ruditapes philippinarum* DING Jianfeng, YAN Xiwu, ZHAO Liqiang, et al (5419)
- Influence of submerged macrophytes on phosphorus transference between sediment and overlying water in decomposition period WANG Lizhi, WANG Guoxiang (5426)
- Distribution patterns of alien herbs in the Yiluo River basin GUO Yili, DING Shengyan, SU Si, et al (5438)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 张利权

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 17 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 17 (September, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元