

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

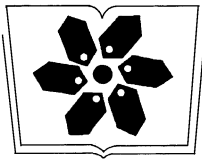
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **2012**

中国生态学学会
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 32 卷 第 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一, 它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧, 延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中, 海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下, 来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升, 给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时, 山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布, 翠峰直插云霄, 森林茂密苍郁, 溪流碧澄清澈, 奇花异葩繁多, 风景美如画卷, 气势壮丽非凡。

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

DOI: 10.5846/stxb201105050585

马树庆, 王琪, 吕厚荃, 徐丽萍, 于海, 张铁林. 水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响. 生态学报, 2012, 32(11): 3378-3385.

Ma S Q, Wang Q, Lü H Q, Xu L P, Yu H, Zhang T L. Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3378-3385.

水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响

马树庆^{1,*}, 王琪², 吕厚荃³, 徐丽萍⁴, 于海⁴, 张铁林⁴

(1. 吉林省气象台, 长春 130062; 2. 吉林省气象研究所, 长春 130062;
3. 国家气象中心, 北京 100081; 4. 榆树市农业气象试验站, 榆树 131106)

摘要:在东北地区中部开展春玉米春季水分胁迫和分期播种试验。试验在人工防雨棚内进行, 设 4 个水分处理和 3 个播种期处理。结果表明, 春玉米 (*Zea mays*) 播种出苗期间土壤含水量与出苗期和出苗率的关系均呈显著的二次函数关系。在田间持水量以下, 耕层土壤湿度越大, 玉米出苗越快, 出苗率越高; 干旱推迟出苗期, 降低出苗率。气温低出苗慢, 但温度对出苗率无明显影响。播种出苗期间 0—20 cm 深平均土壤湿度 (S)、土壤有效水量 (H) 和平均气温 (T) 对出苗速度的组合影响指标是: $25\% > S > 21\%$ (或 $70 \text{ mm} > H > 45 \text{ mm}$)、 $T > 18^\circ\text{C}$ 玉米出苗快; $21\% > S > 18\%$ (或 $45 \text{ mm} > H > 35 \text{ mm}$)、 $18^\circ\text{C} > T > 16.5^\circ\text{C}$ 玉米出苗比较快; $18\% > S > 16\%$ (或 $35 \text{ mm} > H > 25 \text{ mm}$)、 $16.5^\circ\text{C} > T > 15.5^\circ\text{C}$ 玉米出苗较慢; $S < 16\%$ (或 $H < 25$)、 $T < 15.5^\circ\text{C}$ 出苗很慢, 出苗期明显推迟。玉米出苗率主要取决于水分, 0—20 cm 深土壤相对湿度在 85% 以上 (或 $H > 50 \text{ mm}$) 出苗率最高 (95% 以上); 相对湿度 80% 左右 (或 $50 > H > 40 \text{ mm}$) 出苗率较高 (90% 左右); 相对湿度 70% 以下 (或 $H < 40 \text{ mm}$) 出苗率明显降低, 60% 以下 (或 $H < 30 \text{ mm}$) 为严重干旱, 出苗率 65% 以下。

关键词: 春玉米; 水分胁迫; 分期播种; 出苗速度和出苗率; 气象指标

Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate

MA Shuqing^{1,*}, WANG Qi², LÜ Houquan³, XU Liping⁴, YU Hai⁴, ZHANG Tielin⁴

1 Meteorological Observatory of Jilin Province, Changchun 130062, China

2 Institute of Meteorological Science of Jilin Province, Changchun 130062, China

3 National Meteorological Center, Beijing 100081, China

4 Agrometeorological Observatory of Yushu County of Jilin Province, Yushu 131106, China

Abstract: Maize emergence speed and the emergence rate relate to soil moisture and air temperature, and they largely determine the corn growth and yield. In order to obtain the relationships between seedling emergence speed, seedling rate of spring maize (*Zea mays*) and soil moisture and air temperature respectively, the experiments of water stress and by-stage sowing for spring maize were conducted at an agro-meteorological experiment station in the central part of Northeastern China. In an artificial rain-proof cover, 4 water treatments (not drought, light drought, drought and severity drought) and 3 sowing treatments (early, middle and late) were set to create soil moisture variation and air temperature difference during the period from sowing to germination. And soil moisture, water amount for irrigation, rainfall, air temperature, the seedling stage and emergence rate were observed. The results showed that the relationships between soil moisture and emergence rate, period of emergence both were significantly quadratic function during the periods of sowing and emerging. Below field capacity, the greater soil moisture was, the faster the corn came out and the higher the emergence rate was. Soil

基金项目: 国家行业专项资助 (GYHY200906021)

收稿日期: 2011-05-05; 修订日期: 2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Jlmassq@yahoo.cn

drought delayed the period of emergence and decreased emergence rate. Low temperature slowed down the emergence, but had little effect on emergence rate. The equation of relationship between days from sowing to emerging (D), soil moisture (S) at a depth of 0 to 20 cm and average air temperature (T) was $D = 63.450 - 1.194S - 1.442T$. The equation of relationship between emergence rate (P), S and T was $P = 5.107 S + 1.857 T - 56.5$. Combinational influence indexes of average soil moisture, effective soil water (H) and air temperature on maize emergence speed were that corn emerged quickly when $25\% > S > 21\%$, $70 \text{ mm} > H > 45 \text{ mm}$ and $T > 18^\circ\text{C}$; it would emerge normally when $21\% > S > 18\%$, $45 \text{ mm} > H > 35 \text{ mm}$ and $18^\circ\text{C} > T > 16.5^\circ\text{C}$; and it would emerge slowly when $18\% > S > 16\%$, $35 \text{ mm} > H > 25 \text{ mm}$ and $16.5^\circ\text{C} > T > 15.5^\circ\text{C}$; and the emergence was postponed remarkably when $S < 16\%$, $H < 25 \text{ mm}$ and $T < 15.5^\circ\text{C}$. Germination rate depended mainly on soil moisture in this study. The highest germination rate (more than 95%) occurred when $S > 85\%$ and $H > 50 \text{ mm}$; the higher one (about 90%) when relative humidity was about 80% and $50 \text{ mm} > H > 40 \text{ mm}$; and the lower one when relative humidity was less than 70% and $50 \text{ mm} > H > 40 \text{ mm}$; and the one was less than 65% when relative humidity was less than 60% and $H < 30 \text{ mm}$, and the serious drought happened.

Key Words: spring maize; water stress; sowing; emergence velocity and rate; meteorological index

玉米出苗期和出苗率在很大程度上决定玉米生长状况和产量丰欠。玉米出苗速度、出苗率与土壤水分和温度有关。春旱导致种子不发芽、不出苗或出苗较差;低温使出苗缓慢,低温多雨易造成坏种,导致少出苗或不出苗。

关于水分胁迫和温度影响玉米出苗及生长发育的研究已有不少报道。陈若礼等^[1]分析了夏玉米出苗和生长与土壤水分的关系;王会肖^[2]研究了土壤温度、水分和播种深度对玉米出苗的影响;赵先丽等^[3]通过盆栽试验研究春玉米出苗与土壤湿度的关系;马树庆^[4]、王琪^[5]、高素华^[6]等分别通过田间试验和人工控制试验研究温度对春玉米出苗和幼苗生长的影响;刘庚山等研究了夏玉米苗期水分胁迫及拔节期灌水的效果^[7];张银锁等^[8]、何维勋等^[9]分别研究了玉米叶片生长发育与温度的关系;李秋祝^[10]通过播种时不同灌水量研究了干旱胁迫对春玉米主要生理参数的影响;刘彬彬^[11]研究了水分胁迫对玉米幼苗形态及生理代谢的影响;徐明慧等^[12]概述了玉米发芽出苗抗旱性研究进展。国外相关研究也较多,侧重于干旱胁迫下玉米生理研究^[13-16]。相关的研究多数是针对夏玉米的。就我国北方春玉米而言,人们比较关注温度对播种和出苗的影响,水分影响的研究较少,研究水分和温度共同影响的成果更少见,这与 20 世纪 60—80 年代北方地区低温冷害很严重、温度对玉米生产的影响占主导地位^[17-19]有关。但是,进入 20 世纪 90 年代以来气候变暖和变干^[4,18-19],东北地区春季播种出苗期间降水少,春旱频繁,已经成为决定玉米苗情和产量的首要因素^[20-21]。因此,将玉米水分胁迫试验和分期播种试验相结合,分析水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的共同影响,建立春玉米播种出苗气象指标及模型,提炼玉米出苗期、出苗率和春旱程度的预报方法,也为确定抗旱灌水量提供科学依据。

1 实验方法

1.1 试验地概况

试验在榆树市农业气象试验站进行,试验地位于气象观测场 20m 处。榆树市位于我国东北平原玉米带的中部,是全国第一产粮大县,其中玉米播种面积占粮食作物的 59%。该地属中温带半湿润地区,常年大于 10°C 活动积温 $2933^\circ\text{C}\cdot\text{d}$,玉米生长季降水量 500 mm 左右。该市及其试验站的气象、土壤和玉米生产水平在东北地区有代表性。

1.2 土壤水分控制方法

用挡雨棚和人工灌水来实现土壤水分控制。用挡雨棚阻止自然降水,使用喷壶人工灌水,创造土壤水分差异。挡雨棚为一面坡自然通风式,前后沿水泥立柱高度分别为 1.7 m 和 1.4 m,棚长 25 m,宽 5 m。下雨时盖上塑料膜盖,雨后撤掉。在每个棚内并排设 4 个水分处理小区,每个小区四边挖 35 cm 深窄沟,内埋塑料

布,防止水分相互交流。共建 3 个挡雨棚,用于 3 期播种。

1.3 试验处理

播期处理 采用正常、偏晚、晚播 3 个播期创造温度差异,即在 3 个温度层面上研究水分胁迫的影响。试验以当地适宜播种期为第 1 播期,以后每隔 7 d 1 期。

灌溉处理 每个播期设 4 个灌水处理和一个对照(雨养)。每次灌水量分别为少、偏少、中等和稍多,使 4 个处理小区灌水前一天和后一天平均土壤湿度(0—20 cm 深)依次在 15%、17%、19% 和 22% 左右,分别标记为重旱、中旱、轻旱、不早处理。记录灌水量,用于核算土壤有效水量。水分控制期为播种前 10 d 至 7 叶期结束,而后改为雨养。

供试品种 先玉 335,为中熟品种,是目前榆树市乃至东北玉米主产区的主推品种。

小区设置 共 15 个小区。每小区面积 8.5 m²(2.5 m×3.4 m)。每小区 7 垄,其中边上两垄为保护行。垄距 62 cm,播种株距 15 cm,播种密度 10—12 株/m²,定苗后株距 30 cm,密度为每平米 5—6 株,与普通玉米田基本一致。

1.4 观测项目和方法

依照《农业气象观测规范》^[22]开展玉米苗情和相关气象、土壤要素观测。观测项目主要有播种期、出苗期、出苗率、土壤湿度、气温、雨量和灌水量。玉米出苗期和出苗率观测为 2 次重复,每 2 d 观测 1 次,直至七叶期。用土钻法测定 0—10 cm 和 10—20 cm 深土壤湿度。播种前一天测定 1 次土壤湿度,而后平均每周 2 次测定,2 次重复。播种前测定土壤容重、田间持水量、凋萎湿度等土壤参数。试验期间的气温和降水量用气象站观测代替。

1.5 数据处理和分析方法

数据处理 统计播种至出苗期间的 0—20 cm 土壤湿度、降水量、灌水量、平均气温等数据。播种前土壤湿度折算同深度土壤有效水量公式为:

$$M=0.1d(w-k)h \quad (1)$$

式中, M 为土壤有效水量(mm), d 是土壤容重(g/cm³), w 为 0 至 h 深度土壤绝对湿度(%), k 为凋萎湿度(%), h 为测定的土壤深度(cm),0.1 是单位换算系数。试验田地表面平坦,且灌水和自然降水强度都不大,核算土壤有效水分时,径流、渗漏水可忽略不计,因此某时段田间有效水量(H)为前期土壤有效水量(M)与该时段降水量(R)和灌水量(V)之和,即:

$$H=M+R+V \quad (2)$$

式中各项单位均为 mm。显然,对照区 $V=0$,水分控制区 $R=0$ 。

分析方法 土壤湿度、土壤有效水量、平均气温分别与玉米出苗期、出苗率进行统计相关分析,构建玉米出苗速度、出苗率气象指标及模式。

2 结果与分析

2.1 处理、对照之间土壤水分、气温和苗情对比

2.1.1 土壤水分和温度

土壤湿度 不同处理之间土壤水分差异较大(图 1)。播种出苗期间不早、轻旱、中旱和重旱的平均土壤湿度(0—20 cm)依次在 21.5%、20.0%、16.7% 和 15% 左右,部分时段中旱和重旱分别达到 15% 和 13% 左右。当年春季多雨,对照田平均土壤湿度较高,部分时段接近田间持水量。

灌水量和土壤有效水量 处理间土壤水分差异是由灌水量决定的。播种出苗期间不早、轻旱、中旱和重旱小区总灌水量依次为 200、100、55 kg 和 20 kg 左右,分 2—4 灌溉,每次灌水后土层湿润深度在 20 cm 以内。由公式 1 和 2 折算播种出苗期间土壤有效水量(mm,图 1),早、中、晚播 3 个对照依次为 76.6、58.3 mm 和 45.0 mm,不早、轻旱、中旱和重旱的依次为 45、35、31 和 23 mm。

平均气温 当地春季气温呈上升趋势,因此晚播处理播种至出苗平均气温高于早播的(图 1)。由于不同

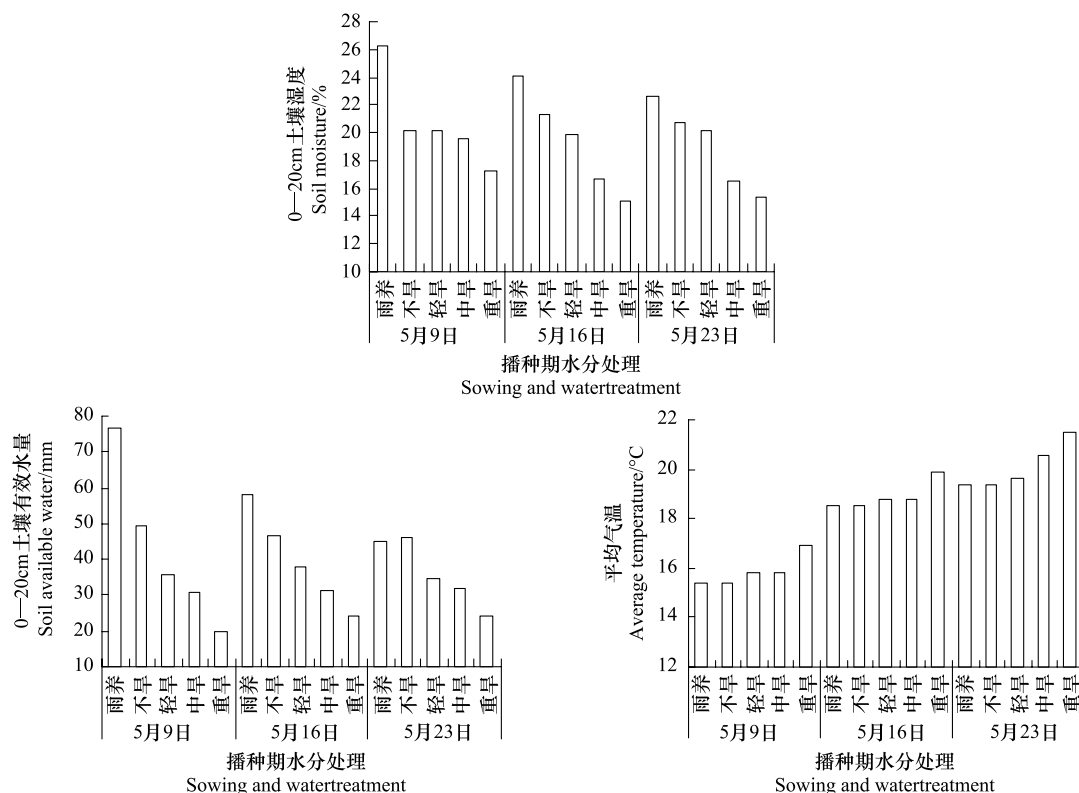


图1 玉米播种出苗期间各播期和水分处理的平均土壤湿度、土壤有效水量和平均气温

Fig. 1 The average soil moisture, soil available water, and mean temperature for sowing and water treatment in corn Seedling and emergence stage

水分处理玉米出苗时间有差异,在相同播期内,干旱处理的平均气温要略高于不旱或轻旱处理的。

2.1.2 玉米出苗期和出苗率

出苗期 不同水分和播期处理的玉米出苗期(普遍期)差异较大。早播种的各处理出苗期在5月23日至6月1日之间,中播的在5月26日至6月5日之间,晚播种的在5月31日至6月8日之间。由于晚播处理阶段气温偏高等原因,3个播期处理的出苗期平均间隔是3—5 d,而不是播种时的7 d。在相同播期内的不同水分处理之间,对照和不旱处理的出苗明显偏早,中旱和重旱的明显偏晚,其中对照和不旱处理出苗期比重旱的早9 d左右,对照、不旱、轻旱、中旱和重旱处理地块的出苗期依次推迟2—3 d左右,土壤越干旱,出苗期越迟(图2)。

出苗率 出苗率为出苗株数占应出苗株数的百分比(%)。3个播期相同水分处理的出苗率相差不大,而水分处理之间出苗率差异较大。对照和不旱处理出苗率在86%—99%之间,而中旱和重旱处理只有51%—67%左右,轻旱为76%—86%之间(图3)。可见,在玉米出苗下限温度(一般是日平均气温稳定8℃)以上,出苗率主要由土壤水分决定,温度影响较小。

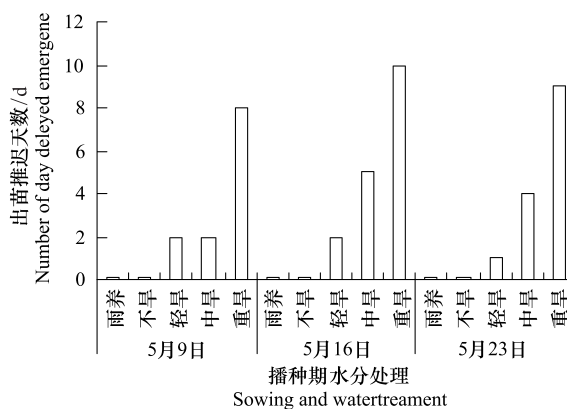


图2 各处理玉米出苗期比对照(雨养)推迟的天数

Fig. 2 The number of days delayed of maize emergence in all treatments compared with control (rainfed)

2.2 出苗期与水分、温度的关系

2.2.1 出苗期与土壤水分的关系

土壤湿度与出苗期的关系 为了突出水分的影响,用相对于对照的相对值来分析。玉米播种出苗期间根层相对土壤湿度与相对于对照的出苗期延迟天数的关系为显著的二次曲线关系(图4),0—20 cm 土壤相对湿度在 85% (绝对湿度 23%) 以上适宜出苗,在 80% 以下,出苗期随着相对湿度近于线性的推迟;土壤相对湿度在 65% 以下(绝对湿度 16% 以下)为严重干旱,出苗期要比适宜水分条件下晚 7—10 d。0—10 cm 土壤相对湿度与出苗期的关系与 0—20 cm 的相似,但适宜和干旱指标要低一些,土壤相对湿度在 80% 以上出苗快,60% 左右(绝对湿度 15% 左右)为严重干旱,出苗很慢。

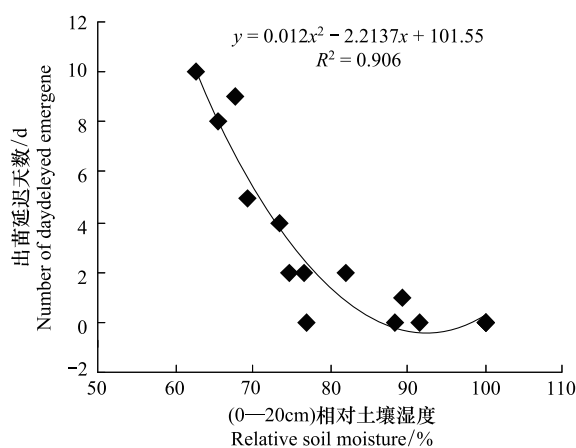


图4 相对土壤湿度与玉米出苗期的关系

Fig. 4 The relationship of relative soil moisture and maize emergence stage

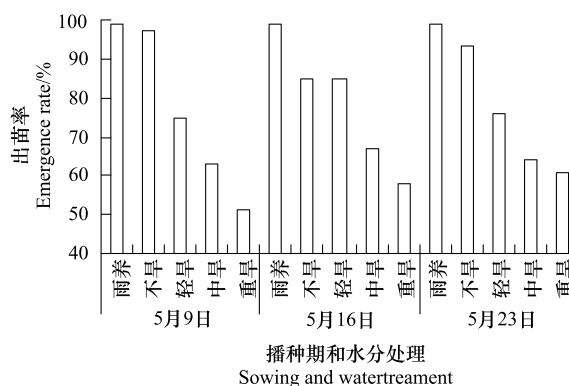


图3 各处理间玉米出苗率的比较

Fig. 3 The comparison of maize emergence rate in all treatments

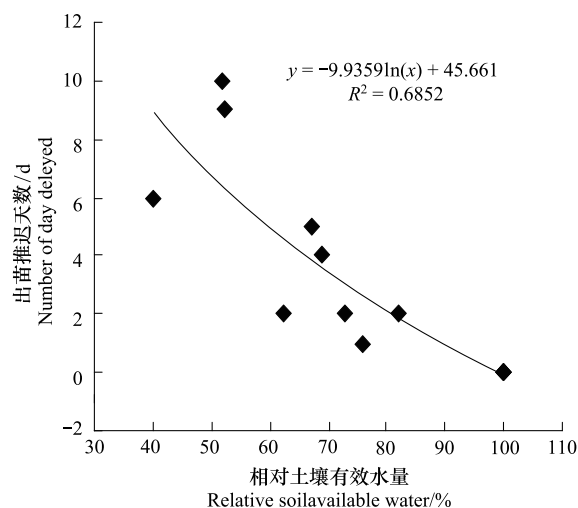


图5 相对土壤有效水量与玉米出苗期的关系

Fig. 5 Relationship of 0—20cm soil available water accumulation and maize emergence stage

土壤有效水量与出苗期的关系 播种至出苗期间土壤有效水量与播种至出苗间隔日数的关系为对数关系,在适宜土壤水量以下,土壤含水量每增(减)10 mm,出苗期缩短(延长)近 2 d。其间适宜土壤水量是 50—70 mm,40—50 mm 为比较适宜,小于 40 mm 为干旱,玉米出苗缓慢。相对土壤有效水量与出苗期延迟天数的关系也是对数曲线关系(图5)。在降水强度不大的条件下,播种出苗期间耕层土壤有效水量可近似于播种前土壤有效水量与降水量(或灌水量)之和,那么在已知播种前土壤水分的条件下,可以推算出苗快慢的供水指标:播种至出苗期间的田间供水量在 32—50 mm 出苗快,25—32 mm 出苗较快,18—25 mm 出苗较慢,少于 15 mm 为严重干旱,出苗期严重推迟或不出苗。

2.2.2 出苗期与平均气温的关系

为了突出气温对出苗时间的影响,用相对于早播处理的相对温差与出苗期延迟天数进行相关分析。结果表明(图略),平均气温与出苗期的关系是线性的,但不十分显著,平均气温在 15.5 °C 以上可以保证出苗,在此基础上,温度每上升 1 °C,出苗期提前 1.2 d 左右,气温越高出苗越快。

2.2.3 土壤水分和气温对出苗速度的共同影响

玉米种子出苗速度取决于土壤水分和温度的组合影响。用播种至出苗间隔日数(D)与0—20 cm 土壤湿度($S, \%$)和平均气温(T)进行二元相关分析,相关方程为:

$$D = 63.450 - 1.194 S - 1.442 T \quad (3)$$

复相关指数的平方为0.671,相关极显著。低湿和低温均不利于出苗,其组合指标是,25% > S > 20.5% 和 T > 18.5 °C 出苗快;20.5% > S > 18% 和 18.0 °C > T > 16.5 °C 为出苗较快(正常);18% > S > 16% 和 16.5 °C > T > 15.5 °C 出苗较慢; S < 16% 和 T < 15.5 °C 出苗很慢,出苗期明显推迟。 D 与0—10 cm 土壤湿度和平均温度的关系与0—20 cm 的相似,但适宜土壤湿度约降低0.5个百分点,温度指标基本不变。

D 与0—20 cm 根层土壤有效水量(H, mm)和 T 的二元相关方程为:

$$D = 43.198 - 0.213 H - 1.163 T \quad (4)$$

复相关指数的平方为0.522,相关极其显著。其组合指标是,70 mm > H > 45 mm 和 T > 18 °C 玉米出苗快;45 mm > H > 35 mm 和 18 °C > T > 17 °C 出苗较快;35 mm > H > 25 mm 和 17 °C > T > 15.5 °C 出苗较慢; H < 25 mm 和 T < 15.5 °C 出苗很慢,出苗期明显推迟。

已知播种期和前期土壤湿度,可以用播种至出苗期间的田间供水量(降水量和灌水量)和气温的预报值预测玉米出苗期。

2.3 出苗率与水分和温度的关系

2.3.1 出苗率与土壤水分的关系

玉米出苗率与土壤湿度的关系为极其显著的二次曲线关系(图6)。0—20 cm 深土壤湿度在22%—26% (相对湿度83%以上)适宜出苗,出苗率在95%—100%之间;土壤湿度23%以下,出苗率随着土壤湿度近于线性的下降。土壤湿度在19%至23%之间,出苗率为90%左右,较适宜出苗;土壤湿度长期处在17%以下(相对湿度70%以下)玉米出苗率明显下降,一般在70%以下。0—10 cm 土壤湿度与出苗率的关系,20%—25%适宜出苗,18%—20%较适宜,65%以下出苗率明显下降。试验结果表明,玉米播种至出苗期间土壤湿度在23%以上时,土壤湿度再增加对出苗率影响不大,接近田间持水量时,出苗率也没有受到明显影响,但播种期土壤湿度大会影响耕作。

玉米播种至出苗期间土壤有效水量与出苗率的关系也呈二次曲线关系(图6)。0—20 cm 深土壤有效水量(H) 在50—70 mm 之间出苗率达到或接近100%,50—40 mm 玉米出苗率在85%左右,30—40 mm 出苗率70%左右,少于30 mm 出苗率在65%以下。在温度和播种前土壤水分较适宜的条件下,播种至出苗期间的供水量(降水量+灌溉量)在32—50 mm 之间为适宜出苗,25—32 mm 为较适宜;25 mm 以下为偏旱,出苗率明显下降;少于15 mm 为严重干旱,出苗率在60%以下。0—10 cm 深土壤有效水量与出苗率的关系大致如此。

2.3.2 土壤水分和气温对出苗率的共同影响

播种出苗期间0—20 cm 土壤湿度($S, \%$)和平均气温(T)对出苗率($P, \%$)的影响方程为:

$$P = 5.107 S + 1.857 T - 56.5 \quad (5)$$

复相关指数的平方为0.765,相关极显著。可见,土壤湿度越接近田间持水量、气温越高,玉米出苗率越高。土壤湿度在田间持水量以下和平均气温在15.5—20 °C 范围内,土壤湿度22%—26%、平均气温18—20 °C,出苗率近100%,最适宜出苗;土壤湿度在19%—22%、气温在17 °C左右,出苗率为90%左右,较适宜出苗;17%以下和16 °C以下,玉米出苗困难,出苗率在70%以下。

播种出苗期间0—20 cm 土壤有效水量(H, mm)和平均气温对出苗率的影响方程为:

$$P = 15.739 + 1.064 H + 1.116 T \quad (6)$$

复相关指数的平方为0.787,相关极显著。土壤水分含量50 mm 以上和气温18 °C 以上适宜出苗,50—40 mm 和气温17 °C 左右较适宜出苗,有效水量少于40 mm 和温度16 °C 左右出苗率偏低,少于30 mm 和低于15.5 °C 出苗率只有60%左右。

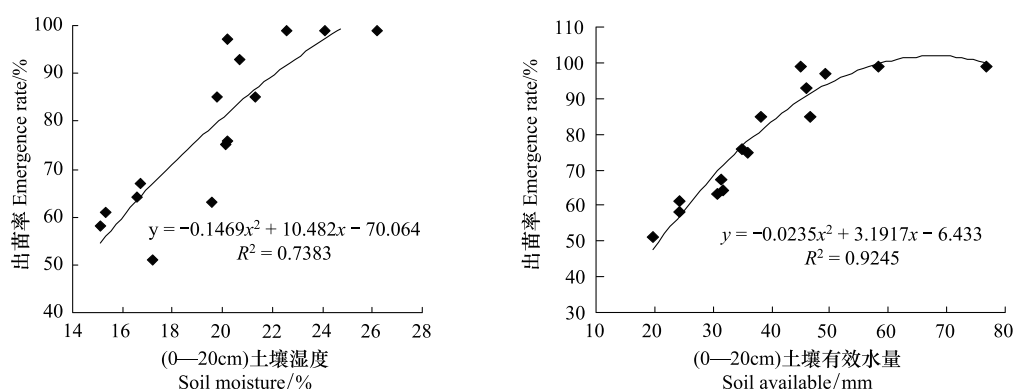


图6 玉米出苗率与0—20cm 土壤湿度和土壤有效水量的关系

Fig. 6 The relationship between corn emergence rate and 0—20cm soil moisture and soil available water

方程(5)和(6)表明,玉米出苗率取决于土壤水分和气温,其中土壤水分起主导作用,但气温低于16℃和高于20℃均对出苗有不利影响。低温下种子活力下降,而东北地区春季持续高温总是伴随干旱,也影响出苗。

3 结论和讨论

(1)田间试验结果表明,玉米播种出苗期间土壤含水量与出苗期和出苗率的关系为二次曲线(或对数曲线)关系。在田间持水量以下,耕层土壤湿度越大,玉米出苗越快,出苗率越高;土壤持续干旱时,出苗期明显推迟,出苗率明显下降。在东北地区,温度偏高有利于快出苗,但温度对玉米出苗率影响不大。在3个温度水平上,土壤水分胁迫对出苗速度和出苗率的影响基本相同,说明试验结果适用于东北地区的不同温度区域。

(2)播种出苗期间0—20 cm 平均土壤湿度(S)、土壤有效水量(H)和平均气温(T)对出苗速度的组合影响指标是:25% > S > 21% (或 70 mm > H > 45 mm)、 T > 18℃ 出苗快;21% > S > 18% (或 45 mm > H > 35 mm)、18℃ > T > 16.5℃ 为出苗较快;18% > S > 16% (或 35 mm > H > 25 mm)、16.5℃ > T > 15.5℃ 出苗较慢; S < 16% (或 H < 25)、 T < 15.5℃ 出苗很慢,出苗期明显推迟。平均气温在15.5—20.5℃范围变化对出苗率影响不大,即玉米出苗率主要取决于水分。0—20 cm 土壤相对湿度在85%以上(或 H > 50 mm)出苗率最高(95%以上);80%左右(或 H 为 50—40 mm)较适宜出苗,出苗率90%左右;70%以下(或 H < 40 mm)出苗率明显偏低;在60%以下(或 H < 30 mm)为严重干旱,出苗率很低,一般在65%以上。在播种前土壤水分较适宜的条件下,播种至出苗期间田间供水量(降水量+灌水量)在32—50 mm之间为适宜出苗,25—30 mm为较适宜,20—25 mm为轻旱,不利于出苗;15—20 mm为中旱;少于15 mm为严重干旱,出苗率65%以下。

(3)基于3个温度水平的田间土壤水分胁迫试验数据建立的土壤水分、气温对玉米出苗期和出苗率影响指标和模式,在定量化和模式化方面较前人研究有新进展,是开展玉米播种出苗期气象条件评价、出苗期和出苗率预测及春旱影响评估的科学基础,也为确定抗旱灌水量提供科学依据。由田间试验结果到大范围实际应用,尚需进一步验证和成果转化。

References:

- [1] Chen R L, Wang X Y, Zhang C L, Chen F. Relationship between Summer corn seedling and growth and the top layer of soil water content. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(S1): 112-113.
- [2] Wang H X. Effects of soil temperature, water stress and sowing depth on germination and emergence of malze. *Ecological Agriculture Research*, 1995, 3(4): 70-74.
- [3] Zhao X L, Zhang Y S, Ji R P, Zhang S J, Mi N, Cai F, Wang H B. Preliminary discussion on water stress of spring maize during seedling in Liaoning province. *Journal of Meteorology and Environment*, 2010, 26(4): 35-39.
- [4] Ma S Q, Wang Q, Luo X L. Effect of climate change on maize (*Zea mays*) growth and yield based on stage sowing. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2131-2139.
- [5] Wang Q, Ma S Q. Effects of air temperature on maize growth and its yield. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(2): 255-261.

- [6] Gao S H, Guo J P, Zhang G M, Wang L M, Wang L Z. The impacts of low temperature on corn seedling physiological response. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1999, 10(2): 238-242.
- [7] Liu G S, Guo A H, Ren S X, An S Q, Zhao H R. Compensatory effects of re-watering on Summer maize threatened by water stress at seedling period. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(3): 24-29.
- [8] Zhang Y S, Yu Z R, Driessen P M. Growing degree-days requirements for plant and leaf development of summer maize (*Zea mays*) — an experimental and simulation study. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(4): 561-565.
- [9] He W X, Cao Y H. The relationship between corn leaves increase rate and temperature and grew. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1990, 11(3): 30-33.
- [10] Li Q Z, Zhao H W, Wei Y X, Wang H Y, Yang L. Effect of the physiological parameters in different growth stages of spring maize by drought. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2006, 33(1): 8-11.
- [11] Liu B B. Effects of Water Stress on Morphogenesis, Physiological Metabolism and Root Water Uptake of Corn Seedlings [D]. Beijing: China Academy of Sciences, 2008.
- [12] Xu M H, Guan Y X, Ma X L, Zhang B S. Review on study of drought resistance in maize seedling emergence stage. *Journal of Maize Sciences*, 2002, 10(4): 35-38.
- [13] Hsiao T C. Plant responses to water stress. *Annual Reviews in Plant Physiology*, 1973, 24(1): 519-570.
- [14] Lebreton C, Lazic-Jančić V, Steed A, Pekić S, Quarrie S A. Identification of QTL for drought responses in maize and their use in testing causal relationships between traits. *Experimental Botany*, 1995, 46(7): 853-865.
- [15] Singh K P, Karan S, Singh K. Some biochemical changes during germination and seedling growth of maize composites in response to moisture stress. *Indian Journal of Agricultural Chemistry*, 1981, 14: 173-176.
- [16] Seregin I V, Kozehevnikova A D. Strontium transport, distribution, and toxic effects on maize seedling growth. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2004, 51(2): 215-221.
- [17] Sun Y T, Wang S Y, Yang Y Q. Study on crop chilling damage in Northeast China. *Journal of Meteorology*, 1983, 41(3): 313-321.
- [18] Ma S Q, An G, Wang Q, Xi Z X, Liu Y Y. Study on the variation laws of the thermal resources in maize-growing belt of Northeast China. *Resources Science*, 2000, 22(5): 41-45.
- [19] Wang S W, Ma S Q, Chen L, Wang Q, Huang J B. Chilling Damage. Beijing: Meteorological Press, 2009: 35-37.
- [20] Cao T H, Liang X H, Liu Y J, Jiang C J, Wang G M, Zhang H X, Li G. Influence of climate change on meteorological yield of maize in Jilin province. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(2): 142-145.
- [21] Hu Y P, Cao M J, Liu M. The analysis of the relation between maize yield and climatic factors in main planting regions of Liaoning Province. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16(3): 140-146.
- [22] CMA. Agricultural Meteorological Observation Specifications. Beijing: Meteorological Press, 1993: 5-15.

参考文献:

- [1] 陈若礼, 王兴于, 张存岭, 陈峰. 夏玉米播种出苗和生长发育与耕层土壤水分含量的关系. *玉米科学*, 2006, 14(S1): 112-113.
- [2] 王会肖. 土壤温度、水分胁迫和播种深度对玉米种子萌发出苗的影响. *生态农业研究*, 1995, 3(4): 70-74.
- [3] 赵先丽, 张玉书, 纪瑞鹏, 冯锐, 张淑杰, 米娜, 蔡福, 王宏博. 辽宁春玉米出苗期水分胁迫试验初探. *气象与环境学报*, 2010, 26(4): 35-39.
- [4] 马树庆, 王琪, 罗新兰. 基于分期播种的气候变化对东北地区玉米 (*Zea mays*) 生长发育和产量的影响. *生态学报*, 2008, 28(5): 2131-2139.
- [5] 王琪、马树庆, 郭建平, 张铁林, 于海, 徐丽萍. 温度对玉米生长和产量的影响. *生态学杂志*, 2009, 28(2): 255-261.
- [6] 高素华, 郭建平, 张国民, 王连敏, 王立志. 低温对玉米幼苗生理反应的影响. *应用气象学报*, 1999, 10(2): 238-242.
- [7] 刘庚山, 郭安红, 任三学, 安顺清, 赵花荣. 夏玉米苗期有限水分胁迫拔节期复水的补偿效应. *生态学杂志*, 2004, 23(3): 24-29.
- [8] 张银锁, 宇振荣, Driessen P M. 夏玉米植株及叶片生长发育热量需求的试验与模拟研究. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 561-565.
- [9] 何维勋, 曹永华. 玉米展开叶增加速率与温度和叶龄的关系. *中国农业气象*, 1990, 11(3): 30-33.
- [10] 李秋祝, 赵宏伟, 魏永霞, 王洪预, 杨亮. 春玉米不同生育时期干旱对主要生理参数的影响. *东北农业大学学报*, 2006, 37(1): 8-11.
- [11] 刘彬彬. 水分胁迫对玉米幼苗形态建成、生理代谢及根系吸水的影响 [D]. 北京: 中国科学院, 2008.
- [12] 徐明慧, 关义新, 马兴林, 张宝石. 玉米芽苗期抗旱性研究进展综述. *玉米科学*, 2002, 10(4): 35-38.
- [17] 孙玉亭, 王书裕, 杨永歧. 东北区作物冷害研究. *气象学报*, 1983, 41(3): 313-321.
- [18] 马树庆, 安刚, 王琪, 裘著香, 刘玉英. 东北玉米带热量资源的变化规律研究. *资源科学*, 2000, 22(5): 41-45.
- [19] 王绍武, 马树庆, 陈莉, 王琪, 黄建斌. 低温冷害. 北京: 气象出版社, 2009: 35-37.
- [20] 曹铁华, 梁恒赫, 刘亚军, 蒋春姬, 王贵满, 赵洪祥, 李刚. 吉林省气候变化对玉米气象产量的影响. *玉米科学*, 2010, 18(2): 142-145.
- [21] 扈艳萍, 曹建敏, 刘敏. 辽宁省玉米主产区气候因子与玉米产量的相关性研究. *玉米科学*, 2008, 16(3): 140-146.
- [22] 中国气象局. 农业气象观测规范 (上卷). 北京: 气象出版社, 1993: 5-15.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understory species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 11 (June, 2012)

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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:100071	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 70.00 元