

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第15期 Vol.31 No.15 **2011**

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 31 卷 第 15 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目 次

地面节肢动物营养类群对土地覆被变化和管理扰动的响应·····	李锋瑞,刘继亮,化伟,等 (4169)
两种书虱微卫星富集文库的构建及比较·····	魏丹丹,袁明龙,王保军,等 (4182)
菲律宾蛤仔 EST-SSRs 标记开发及不同地理群体遗传多样性·····	闫喜武,虞志飞,秦艳杰,等 (4190)
菲律宾蛤仔大连群体不同世代的遗传多样性·····	虞志飞,闫喜武,杨霏,等 (4199)
玻璃温室与田间栽培小麦幼穗分化的比较·····	姜丽娜,赵艳岭,邵云,等 (4207)
施用有机肥环境下盐胁迫小麦幼苗长势和内源激素的变化·····	刘海英,崔长海,赵倩,等 (4215)
黄土高原半干旱区气候变化对春小麦生长发育的影响——以甘肃定西为例·····	姚玉璧,王润元,杨金虎,等 (4225)
不同耕作模式下稻田水中氮磷动态特征及减排潜力·····	冯国禄,杨仁斌 (4235)
大田环境下转 Bt 基因玉米对土壤酶活性的影响·····	颜世磊,赵蕾,孙红炜,等 (4244)
短期淹水培养对水稻土中地杆菌和厌氧粘细菌丰度的影响·····	朱超,Stefan Ratering,曲东,等 (4251)
气候变化背景下广东晚稻播期的适应性调整·····	王华,陈新光,胡飞,等 (4261)
长期封育对不同类型草地碳贮量及其固持速率的影响·····	何念鹏,韩兴国,于贵瑞 (4270)
黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力·····	刘迎春,王秋凤,于贵瑞,等 (4277)
植物叶表面的润湿性及其生态学意义·····	石辉,王会霞,李秧秧 (4287)
长白山北坡主要森林群落凋落物现存量月动态·····	郑金萍,郭忠玲,徐程扬,等 (4299)
古尔班通古特沙漠及周缘 52 种植物种子的萌发特性与生态意义·····	刘会良,宋明方,段士民,等 (4308)
吉首蒲儿根的繁殖生态学特性及其濒危成因·····	邓涛,陈功锡,张代贵,等 (4318)
栖息地永久性破坏的比例对物种多度稳定值影响的迭代算法·····	时培建,戈峰,杨清培 (4327)
喷施多效唑提高麻疯树幼苗耐盐性的生理机制·····	毛轶清,郑青松,陈健妙,等 (4334)
阿尔山落叶松主要蛀干害虫的种群空间生态位·····	袁菲,骆有庆,石娟,等 (4342)
2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制·····	沈慧梅,吕建平,周金玉,等 (4350)
中华稻蝗长沙种群的生活史及其卵滞育的进化意义·····	朱道弘,张超,谭荣鹤 (4365)
“518”油桃主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	施晓丽,毕守东,耿继光,等 (4372)
青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化·····	张洪芝,吴鹏飞,杨大星,等 (4385)
青海可鲁克湖水鸟季节动态及渔鸥活动区分析·····	张国钢,刘冬平,侯韵秋,等 (4398)
排放与森林碳汇作用下云南省碳净排放量估计·····	刘慧雅,王铮,马晓哲 (4405)
北京城市生态占水研究·····	柏樱岚,王如松,姚亮 (4415)
专论与综述	
植物水分传输过程中的调控机制研究进展·····	杨启良,张富仓,刘小刚,等 (4427)
环境介质中的抗生素及其微生物生态效应·····	俞慎,王敏,洪有为 (4437)
自然生态系统中的厌氧氨氧化·····	沈李东,郑平,胡宝兰 (4447)
研究简报	
山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系·····	张莹,吕振波,徐宗法,等 (4455)
新疆乌伦古湖浮游甲壳动物的季节演替及与环境因子的关系·····	杨丽丽,周小玉,刘其根,等 (4468)
不同施肥与灌水量对槟榔土壤氮挥发的影响·····	卢丽兰,甘炳春,许明会,等 (4477)
学术信息与动态	
水土资源保持的科学政策:全球视野及其应用——第 66 届美国水土保持学会国际学术年会述评·····	卫伟 (4485)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-08



封面图说: 塞罕坝地处内蒙古高原南缘向华北平原的过渡带,地势分为坝上、坝下两部分。解放初期,这里是“飞鸟无栖树,黄沙遮天日”的荒原沙丘,自 1962 年建立了机械化林场之后,塞罕坝人建起了 110 多万亩人工林,造就了中国最大的人工林林场。这是让人叹为观止的落叶松人工林海。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

姜丽娜, 赵艳岭, 邵云, 余海波, 林琳, 杨金芳, 李春喜. 玻璃温室与田间栽培小麦幼穗分化的比较. 生态学报, 2011, 31(15): 4207-4214.

Jiang L N, Zhao Y L, Shao Y, Yu H B, Lin L, Yang J F, Li C X. Comparative study of spike differentiation in wheat in the glasshouse and field. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4207-4214.

玻璃温室与田间栽培小麦幼穗分化的比较

姜丽娜, 赵艳岭, 邵云, 余海波, 林琳, 杨金芳, 李春喜*

(河南师范大学生命科学学院, 河南新乡 453007)

摘要:以河南省大面积种植的弱春性品种“郑麦 9023”及半冬性品种“周麦 18”为材料,开展了玻璃温室和田间栽培条件下小麦幼穗分化进程的比较研究。结果表明,在小麦全生育期,玻璃温室内平均温度高于田间环境,小麦幼穗分化所需时间极显著低于田间环境($P < 0.01$)。温度和 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上积温升高,小麦幼穗分化进程加快。与田间种植小麦相比,玻璃温室内小麦幼穗分化缩短的时期主要集中在分化前期(出苗-伸长期、单穗期、二穗期)。玻璃温室内小麦幼穗分化持续时间和总积温均随播期推迟而降低,幼穗分化各阶段出现时间亦随播期的推迟而后延。小麦幼穗分化进程存在品种间差异,其中“郑麦 9023”幼穗分化持续时间小于“周麦 18”,各阶段出现的时间亦早于“周麦 18”。温度对幼穗分化各时期的影响存在品种间差异。温度升高对“郑麦 9023”幼穗分化中期(二穗期、护颖分化期、小花分化期)影响较大,对“周麦 18”幼穗分化前期和后期(单穗期、二穗期、药隔分化期)影响较大。积温对“郑麦 9023”护颖分化期和“周麦 18”药隔分化期、二穗期影响较大。

关键词:小麦;玻璃温室;田间种植;幼穗分化;温度

Comparative study of spike differentiation in wheat in the glasshouse and field

JIANG Lina, ZHAO Yanling, SHAO Yun, YU Haibo, LIN Lin, YANG Jinfang, LI Chunxi*

College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxian Henan, 453007, China

Abstract: Spike differentiation is important for reproductive organ formation during wheat growth and development, and is a crucial period influencing grain yield. Spike differentiation depends not only on genetic characteristics but also environmental factors such as temperature. In recent years, rising temperatures and extreme weather associated with global climate change have strongly affected agricultural production and systems.

Wheat is an important food crop worldwide and is the main crop grown in Henan province. With the aim of assessing the effects of increasing temperature on wheat spike differentiation, a comparative study of wheat spike differentiation in the glasshouse and field was conducted during 2009/2010. The experimental material comprised ‘Zhengmai 9023’, which is a semi-spring wheat cultivar, and ‘Zhoumai 18’, which is a semi-winter wheat cultivar. In the field experiment, seeds were sown on 18 October; in the glasshouse experiment, seeds were sown on 1 November (T_1), 15 November (T_2) and 29 November (T_3). Spike development was observed with a stereomicroscope from seedling emergence until completion of anther differentiation, and the effects of temperature on spike differentiation were studied.

The mean temperature and accumulated temperature above zero tended to be higher in the glasshouse than in the field during the whole growth period. Wheat plants underwent normal spike differentiation and attained maturity in the glasshouse, but the duration of the spike differentiation process was significantly shorter in the glasshouse than in the field ($P < 0.01$). Therefore, the entire growth period was also shorter in the glasshouse than in the field. The spike differentiation process was accelerated with increasing temperature and accumulated temperature above zero. Compared with

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD16B14);农业行业科研专项(200903007)

收稿日期:2010-10-20; 修订日期:2011-06-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 13703731637@sina.com

the field environment, the spike differentiation stages of significantly shorter duration in the glasshouse were early developmental stages from seedling emergence to the spike elongation, single ridge and double ridge stages. In the glasshouse, with the sowing time delayed (T_2 and T_3), the duration of spike differentiation was shortened, the onset of each spike differentiation stage was delayed, and the accumulated temperature during the entire spike differentiation period was lower. The duration of spike differentiation under the T_1 treatment was significantly longer than that under the T_2 treatment ($P < 0.01$).

Differences in spike differentiation between the two cultivars were apparent. In this study, the duration of spike differentiation was shorter, and the onset of each developmental stage was earlier, in Zhengmai 9023 compared with those of Zhoumai 18. The effects of temperature on spike differentiation differed between the cultivars. The accumulated temperature during spike differentiation for Zhengmai 9023 was lower than that of Zhoumai 18 sown at the same time. For Zhengmai 9023, high temperature mostly influenced the intermediate developmental stages, namely the double ridge, glume differentiation, and floret differentiation stages. For Zhoumai 18, early and late developmental stages were mainly affected by high temperature, namely the single ridge, double ridge and anther differentiation stages. The influence of accumulated temperature was strongest on the glume differentiation stage in Zhengmai 9023, and on the anther differentiation and double ridge stages in Zhoumai 18.

Key Words: wheat; glasshouse; field; spike differentiation; temperature

幼穗分化是小麦生长发育过程中生殖器官建成的关键时期,亦是决定籽粒产量高低的关键时期,既取决于基因型本身的特性,又与环境因素密切相关^[1],其中温度是影响小麦幼穗发育的主要生态因子^[2]。近年来,全球气候变化特别是气候变暖和极端天气的增加,给农业生产及农业生态系统带来了巨大冲击^[3],不仅直接影响作物的生长发育和产量,而且还影响作物布局、种植制度和农艺措施等^[4-7]。小麦是世界性的主要粮食作物,国内外学者围绕气候变暖对小麦生产的影响和温度与小麦幼穗分化的关系开展了研究,主要是围绕某一区域多年多点温度变化对小麦生产的影响进行分析和预测^[8-11]。气候变化背景下,小麦的品种特性亦随之变化^[12]。本研究以河南省大面积种植的2个小麦品种为材料,在玻璃温室环境下分析小麦生育期温度升高对幼穗分化进程的影响,比较玻璃温室和田间种植小麦幼穗分化的进程,以期进一步揭示气候变暖条件下温度升高对小麦幼穗发育规律的影响,为应对气候变化条件下合理利用光热资源以提高小麦籽粒产量提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

以河南省大面积种植的弱春性品种“郑麦 9023”及半冬性品种“周麦 18”为供试材料,于 2009—2010 年在河南师范大学校内试验田和玻璃温室内进行种植。根据课题组 2007—2009 年试验资料,田间试验于 2009-10-18 进行播种(以 T_0 表示),播量 $225 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 基本苗,小区面积 38.8 m^2 ($19.4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$),2010-06-06 收获,全生育期 232 d;玻璃温室内小麦种植设置 3 个播期,分别是 2009-11-01(以 T_1 表示)、2009-11-15(以 T_2 表示)和 2009-11-29(以 T_3 表示),播量均为 $450 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 基本苗,小区面积 6.75 m^2 ($4.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$),2010-05-09 之后成熟收获,全生育期 163—198 d。两种种植环境条件下,小麦生育期月平均温度变化如表 1 所示。

1.2 幼穗分化观察

自出苗期至四分体形成期,每 3 d 取植株幼苗,利用体视显微镜观察玻璃温室及田间种植小麦的幼穗分化情况,每次观察并记录 3—5 株幼穗中部小穗和顶端小穗的发育进展。

1.3 数据统计分析

数据统计分析采用 SPSS 13.0 统计软件进行。

表 1 玻璃温室与田间种植条件下小麦生育期月平均温度

Table 1 Temperature dynamic of each month during the growth stage of winter wheat in the glasshouse and field											
生育期各月份平均温度										日均温 Daily mean temperature/℃	≥0 ℃ 积温 Accumulated temperature above zero/℃
Mean temperature of each month during the wheat growth stage/℃											
10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月			
玻璃温室 Glasshouse	—	15.3	13.6	12.2	7.2	19.5	24.9	36.2	—	18.4	3681.2
田间种植 Field	17.2	4.7	2.1	1.5	3.8	8.1	13.6	22	23.1	10.7	2059.3

2 结果与分析

2.1 玻璃温室及田间种植小麦的幼穗分化进程

玻璃温室内不同播期及田间种植条件下小麦幼穗分化的进程存在差异(表 2)。总体来看,玻璃温室内小麦幼穗分化所需的总天数极显著低于田间种植小麦($P < 0.01$)。玻璃温室内,随播期的推迟,小麦幼穗分化持续天数呈递减趋势,且 T_1 与 T_3 播期间的差异达极显著水平($P < 0.01$)。从 2 个品种来看,“郑麦 9023”幼穗分化所需总天数低于“周麦 18”,其差异未达显著水平。

表 2 玻璃温室与田间种植小麦幼穗分化各阶段时间及历时天数

Table 2 Occurred dates and continued days of various spike differentiation phases in wheat in the glasshouse and field experiment									
幼穗分化 Spike differentiation	日期及天数 Date and days	郑麦 9023 Zhengmai 9023				周麦 18 Zhoumai 18			
		玻璃温室 Glasshouse			田间 Field (T_0)	玻璃温室 Glasshouse			田间 Field (T_0)
		T_1	T_2	T_3		T_1	T_2	T_3	
出苗-伸长期	开始日期	11-07	11-24	12-11	10-24	11-07	11-25	12-14	10-24
Emerge to spike elongation	经历天数/d	22	20	18	30	31	25	22	51
单棱期 Single ridge	开始日期	11-29	12-14	12-29	11-23	12-08	12-20	01-05	12-14
	经历天数/d	12	15	19	70	18	28	15	70
二棱期 Double ridges	开始日期	12-11	12-29	01-17	02-01	12-26	01-17	01-20	02-22
	经历天数/d	12	19	12	33	46	36	45	21
护颖分化期	开始日期	12-23	01-17	01-29	03-06	02-10	02-22	03-06	03-15
Glume differentiation	经历天数/d	3	3	3	6	12	3	3	3
小花分化期	开始日期	12-26	01-20	02-01	03-12	02-22	02-25	03-09	03-18
Floret differentiation	经历天数/d	13	12	18	6	6	9	3	3
雌雄蕊分化期	开始日期	01-08	02-01	02-19	03-18	02-28	03-06	03-12	03-21
Pistil and stamen differentiation	经历天数/d	14	18	6	6	9	9	6	6
药隔分化期	开始日期	01-22	02-19	02-25	03-24	03-09	03-15	03-18	03-27
Anther differentiation	结束日期	03-06	03-15	03-18	04-11	03-24	03-30	04-02	04-14
	经历天数/d	46	24	21	18	15	15	15	18
	合计天数/d	122	111	97	169	137	125	109	172

由表 2 可知,玻璃温室条件下,小麦幼穗分化各阶段出现日期随播期的推迟而后延。同一播期下,“郑麦 9023”进入幼穗分化各时期的时间早于“周麦 18”,护颖分化期之后,这种差异愈加明显。田间种植条件下,“郑麦 9023”进入幼穗分化各时期的时间亦早于“周麦 18”,与玻璃温室环境不同的是,进入护颖分化期之后,这种差异逐渐缩小。

幼穗分化各阶段出现时间及历时天数在玻璃温室及田间种植环境下表现各异。玻璃温室内小麦播种期晚于田间,其伸长期、单棱期出现时间均晚于田间种植小麦,自二棱期之后,幼穗分化各阶段出现时间均早于田间种植小麦。总体来看,幼穗分化前期,玻璃温室内幼穗分化各阶段的历时天数低于田间种植,在单棱期二者差异达到极显著水平($P < 0.01$);幼穗分化后期,玻璃温室内幼穗分化各阶段的历时天数则高于田间种植。在这一过程中,“郑麦 9023”以护颖分化期为界,“周麦 18”以二棱期为界。自护颖分化期之后,对于“郑麦 9023”而言,玻璃温室内小麦幼穗分化各阶段历时天数均高于田间种植,且差异较大;而“周麦 18”的这种差异

表现较小,在药隔分化期,田间种植小麦的历时天数表现为略高于玻璃温室小麦。

幼穗分化各阶段历时天数在品种间亦存在差异。田间种植条件下,出苗-伸长期,“周麦 18”历时天数高于“郑麦 9023”,之后,两品种幼穗分化各阶段历时天数基本相同;在二棱期、护颖分化期、小花分化期,“郑麦 9023”略高于“周麦 18”,但其幼穗分化总天数仍略低于“周麦 18”。玻璃温室条件下,对于 T₁播期而言,至护颖分化期,“周麦 18”幼穗分化各阶段历时天数均高于“郑麦 9023”;自小花分化期开始,“周麦 18”各阶段历时天数低于“郑麦 9023”,但其总天数仍高于“郑麦 9023”。对于 T₂、T₃播期而言,以护颖分化期为界,之前表现为“周麦 18”高于“郑麦 9023”,之后表现为“周麦 18”低于“郑麦 9023”,但其总天数亦以“周麦 18”较高。

玻璃温室内,小麦幼穗分化各阶段历时天数在播期之间存在差异。由表 2、表 3 可以看出,“郑麦 9023”雌雄蕊分化期历时天数的变异系数最高,其次是药隔分化期,护颖分化期历时天数相对稳定。“周麦 18”护颖分化期历时天数的变异系数最高,其次是单棱期、小花分化期,药隔分化期历时天数相对稳定。由此可以看出,玻璃温室条件下,播期对“郑麦 9023”幼穗分化后期(雌雄蕊分化期、药隔分化期)影响较大,对“周麦 18”幼穗分化前期(单棱期)和中期(护颖分化期、小花分化期)影响较大。

表 3 玻璃温室环境下小麦幼穗分化各阶段历时天数的变异系数/%
Table 3 Coefficient of variability of continued days of various spike differentiation phases in wheat in the glasshouse

品种 Variety	出苗-伸长期 Emerge to spike Elongation	单棱期 Single ridge	二棱期 Double ridges	护颖分化期 Glume differentiation	小花分化期 Floret differentiation	雌雄蕊 分化期 Pistil and stamen differentiation	药隔分化期 Anther differentiation	总变异系数 Total CV
郑麦 9023	7.77	22.90	28.20	0.00	22.43	48.24	40.67	9.84
周麦 18	17.63	33.48	13.01	86.60	24.74	21.65	0.00	10.03

2.2 小麦幼穗分化与各阶段日均温的关系

玻璃温室与田间种植小麦幼穗分化各阶段日均温和积温的动态变化如表 4 所示。

表 4 玻璃温室与田间种植小麦幼穗分化各阶段日均温和积温/℃
Table 4 Daily mean temperature and accumulated temperature above zero of various spike differentiation stages in wheat in the glasshouse and field experiment

幼穗分化 Spike differentiation	温度/℃ Temperature	郑麦 9023 Zhengmai 9023				周麦 18 Zhoumai 18			
		玻璃温室 Glasshouse			田间 Field (T ₀)	玻璃温室 Glasshouse			田间 Field (T ₀)
		T ₁	T ₂	T ₃		T ₁	T ₂	T ₃	
出苗-伸长期	日均温	13.4	16.1	12.2	8.1	14.5	14.6	12.1	6.3
Emerge to spikeelongation	积温	294.2	322.5	220.0	244.2	449.2	365.5	267.0	322.2
单棱期 Single ridge	日均温	16.7	11.9	10.9	1.9	12.8	11.6	11.1	1.5
	积温	200.0	179.0	208.0	135.8	231.0	325.0	166.0	104.9
二棱期 Double ridges	日均温	12.0	10.9	14.8	3.9	11.1	8.9	9.7	6.3
	积温	144.0	208.0	178.0	129.4	511.8	320.0	434.0	132.4
护颖分化期 Glume differentiation	日均温	14.0	15.3	13.6	3.6	4.2	15.7	14.7	8.6
	积温	42.0	46.0	40.8	21.5	50.2	47.0	44.0	25.9
小花分化期 Floret differentiation	日均温	10.5	14.4	4.0	21.0	15.2	13.4	23.0	24.3
	积温	136.0	172.8	71.2	126.0	91.0	121.0	80.5	73.0
雌雄蕊分化期 Pistil and stamen differentiation	日均温	12.7	4.0	12.8	10.9	13.4	18.8	20.6	10.0
	积温	152.0	71.2	77.0	65.5	121.0	169.0	113.5	60.0
药隔分化期 Anther differentiation	日均温	9.7	15.3	17.1	12.8	21.5	21.4	21.6	12.7
	积温	419.0	367.0	359.0	231.0	322.0	321.0	324.0	228.1
	总积温	1387.2	1366.5	1154.0	953.3	1776.2	1668.5	1429.0	946.5

玻璃温室内小麦幼穗分化的出苗-伸长期和单棱期,其日均温均显著高于同期田间种植小麦($P < 0.05$)。结合各阶段的历时天数(表 2),玻璃温室小麦通过这两个时期的历时天数均显著高于田间种植小麦($P < 0.05$)。因此,相对较高的温度可促进该阶段的通过,而较低的温度则使幼穗分化通过该阶段的时间延长。

玻璃温室小麦幼穗分化二棱期的日均温极显著高于田间种植小麦($P < 0.01$)。对于 2 个品种而言,“周麦 18”在玻璃温室内通过二棱期的时间较长,而“郑麦 9023”在田间种植通过该期的时间较长,且在玻璃温室内,“郑麦 9023”通过该期的时间极显著低于“周麦 18”($P < 0.01$)。由此认为,相对较高的温度可以促使“郑麦 9023”通过二棱期,抑制“周麦 18”通过该阶段,“周麦 18”较“郑麦 9023”在该阶段对低温相对敏感。

进入护颖分化期,小麦幼穗分化通过该阶段的时间缩短。玻璃温室条件下,“郑麦 9023”各播期在该阶段的日均温基本相同,其历时天数亦一致;而“周麦 18”在 T_1 播期下的日均温较低($4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$),导致其在该阶段的历时天数长达 12 d 之久,与其它播期处理间的差异达极显著水平($P < 0.01$)。

“郑麦 9023”进入小花分化期的时间早于“周麦 18”(表 2),由于日均温较低,其通过小花分化期的时间较长。玻璃温室环境条件下,“郑麦 9023” T_3 播期此阶段的日均温最低($4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$),其历时长达 18 d;而“周麦 18” T_3 播期下此期的日均温最高($23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$),其历时仅用 3 d。因此,相对较高的温度促使小麦幼穗分化通过该阶段。

进入雌雄蕊分化期,“郑麦 9023”通过该阶段历时天数随日均温的升高而减少,而“周麦 18”该期历时天数则表现为随日均温的升高呈先增大后减少趋势。玻璃温室条件下,“郑麦 9023”通过该阶段的历时天数长于“周麦 18”,从该阶段日均温来看,其日均温均低于“周麦 18”。同时,田间种植条件下,“周麦 18”通过该阶段历时 3 d,低于“郑麦 9023”,而此阶段日均温高于“郑麦 9023”。

至药隔分化期,玻璃温室条件下,“郑麦 9023”通过此阶段的时间随播期的推迟呈递减趋势,从日均温来看,该阶段日均温随播期的推迟呈升高趋势;“周麦 18”各播期间日均温基本相同,均高于“郑麦 9023”,因此,其通过该阶段所需时间一致,均低于“郑麦 9023”。田间种植条件下,两品种此期历时天数一致,其历期日均温亦相同。由此认为,较高的温度有利于该阶段的通过,减少该期的历时天数。

2.3 小麦幼穗分化与各阶段积温的关系

田间种植条件下,两品种完成幼穗分化总积温基本一致,均低于玻璃温室环境条件。玻璃温室条件下,小麦幼穗分化总积温随播期推迟而减少;同一播期下,“郑麦 9023”幼穗分化总积温低于“周麦 18”。

从完成出苗-伸长期的积温来看,玻璃温室小麦在 T_1 、 T_2 播期下通过该阶段所需积温高于 T_3 播期及田间(T_0 播期)。 T_3 播期下,小麦幼穗分化完成该阶段所需要的积温最少,同时该阶段历时天数最短(表 2)。由此认为,玻璃温室条件下,晚播缩短了小麦通过伸长期的时间,降低了通过该阶段的积温。

从完成单棱期、二棱期所需积温来看,玻璃温室小麦高于田间小麦。温度的升高缩短了小麦通过该阶段的历时天数(表 2),增加了其通过该阶段的积温。结合表 2、表 4,可以看出,玻璃温室条件下,“郑麦 9023” T_3 播期、“周麦 18” T_2 播期不利于小麦通过单棱期;“郑麦 9023” T_2 播期、“周麦 18” T_1 播期不利于小麦通过二棱期。

二棱期之前,“郑麦 9023”完成幼穗分化各阶段的时间和积温均低于“周麦 18”,这表明对于后者而言,其幼穗分化对低温要求严格,分化历程更长,高温引发的滞留效应更突出。“郑麦 9023” T_1 播期下完成分化前期所需的时间最短(46 d),积温为 $638.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, T_3 播期下完成分化前期所需的积温最少($606.0\text{ }^{\circ}\text{C}$),历时天数较长(49 d);“周麦 18” T_3 播期下完成分化前期所需的时间最短(82 d),积温亦较低($867.0\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

二棱期通过之后,小麦幼穗分化进程加快,对温度要求表现为“积温效应”,与 Haloran 等人^[13-15]的研究结果一致。从完成药隔分化期所需积温来看,“郑麦 9023”在玻璃温室内表现为随播期的推迟积温呈递减趋势, T_1 播期所需积温最高。分析其原因,2月1日至20日之间,温度均在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,低温对该阶段产生了不利的影响,延长了通过该阶段的天数(46 d),积温增加。而对于“周麦 18”来说,各播期处理间无差异。

2.4 小麦幼穗分化与日均温、积温的相关分析

小麦幼穗分化各时期历时天数与日均温、积温的相关分析见表 5。

表5 玻璃温室与田间种植小麦幼穗分化不同时期历时天数与日均温、积温的相关分析

Table 5 Correlation analysis between daily mean temperature, accumulated temperature and continued days of various spike differentiation stages in wheat in the glasshouse and field

品种 Variety	温度/℃ Temperature	出苗-伸长期 Emerge to spike Elongation	单棱期 Single ridge	二棱期 Double ridges	护颖分化期 Glume differentiation	小花分化期 Floret differentiation	雌雄蕊分化期 Pistil and stamen differentiation	药隔分化期 Anther differentiation
郑麦 9023	日均温/℃	-0.783	-0.946	-0.966 *	-0.991 **	-0.988 *	-0.700	-0.759
Zhengmai 9023	积温/℃	-0.152	-0.907	-0.423	-0.979 *	-0.515	0.331	0.748
周麦 18	日均温/℃	-0.852	-0.967 *	0.968 *	-0.814	-0.949	0.095	-1.000 **
Zhoumai 18	积温/℃	0.031	-0.555	0.985 *	0.516	0.972 *	0.754	-1.000 **

* 表示 0.05 水平上差异显著, ** 表示 0.01 水平上差异显著

出苗-伸长期 2 个品种通过该期的时间与日均温呈负相关。“郑麦 9023”在该阶段的历时天数与积温之间呈负相关,而“周麦 18”与积温之间呈正相关。

单棱期 2 个品种在该阶段的历时天数与日均温、积温均呈负相关,“周麦 18”在该阶段的历时天数与日均温的相关性达显著水平($r=-0.967^*$)。

二棱期 “郑麦 9023”在该阶段的历时天数与日均温呈显著负相关($r=-0.966^*$),“周麦 18”则呈显著正相关($r=0.968^*$)。此外,“周麦 18”通过该阶段的历时天数与积温呈显著正相关($r=0.985^*$),“郑麦 9023”则呈不显著的负相关。

护颖分化期 “郑麦 9023”在该阶段的历时天数与日均温($r=-0.991^{**}$)、积温($r=-0.979^*$)呈负相关,而“周麦 18”与日均温、积温的相关关系不显著。

小花分化期 “郑麦 9023”在该阶段的历时天数与日均温($r=-0.988^*$)、积温($r=-0.515$)呈负相关,“周麦 18”在该阶段的历时天数与日均温呈不显著负的相关,与积温呈显著正相关($r=0.972^*$)。

雌雄蕊分化期 “郑麦 9023”在该阶段的历时天数与日均温呈负相关,与积温呈正相关,“周麦 18”在该阶段的历时天数与日均温、积温均呈正相关。2 品种通过该阶段的时间与日均温、积温的相关性均不显著。

药隔分化期 “周麦 18”在该阶段的历时天数与日均温、积温均呈极显著的负相关。“郑麦 9023”通过该阶段的历时天数与日均温呈负相关,与积温呈正相关,相关性均不显著。

3 讨论与结论

3.1 玻璃温室与田间种植小麦的幼穗分化时期

气候变化导致我国主要小麦生产区温度升高,使小麦生长发育进程加快,生育期缩短^[9,11]。张建平等采用作物模型与气候模式相结合的研究方法,定量化模拟预测了气候变化对冬小麦生产的影响,认为未来 100 a 年内华北地区冬小麦的生长期平均缩短 8.4 d,产量也会有不同程度的下降^[16]。河南省是我国小麦重要主产区之一,近年来平均温度呈升高的趋势,冬小麦生育期总天数呈逐渐减小的趋势,平均每 10 a 减少 1.3—3.5 d^[11,16-17]。有研究认为,低温不是冬小麦进入穗分化的决定因素,对冬小麦而言,开始二棱期的分化需要积累一定的时间^[15]。本研究认为,玻璃温室环境下,小麦能够正常通过幼穗分化完成整个生育进程,其生育期天数低于田间种植小麦。

郜庆炉等通过分期播种的方法,研究了河南省具有代表性的不同类型小麦品种的幼穗分化进程,认为秋、冬温度较高情况下,小麦幼穗分化进入各时期的时间存在品种间差异^[12]。本研究亦表明,小麦幼穗分化因品种和播期而异,播期对幼穗分化的影响主要是通过温度产生的。由于品种特性的改变及外界环境的变化,小麦幼穗发育进程各阶段的时间与已有报道存在差异^[14-15]。在玻璃温室环境下,小麦幼穗分化期间的温度高于田间环境,分化总天数缩短。对于“郑麦 9023”而言,缩短的时期主要在分化前期(出苗-伸长期、单棱期、二棱期),分化后期(小花分化期、雌雄蕊分化期、药隔分化期)又有所延长,但整个幼穗分化期是缩短的;而“周麦 18”缩短的时期主要是出苗-伸长期、单棱期,之后各阶段由于相对较高的温度作用,均有所延长,至药隔分

化期变化趋于平稳。玻璃温室环境条件下,幼穗分化进入各时期的时间表现为随播期的推迟而后延,“郑麦 9023”早于“周麦 18”。幼穗分化各期历时天数存在品种间差异,分化前期表现为“周麦 18”高于“郑麦 9023”,后期则表现相反,这与郜庆炉^[12]等人的研究结果基本一致。本研究表明,玻璃温室环境条件下,播期对“周麦 18”幼穗分化单棱期、护颖分化期历时天数的影响较大,对“郑麦 9023”幼穗分化后期(雌雄蕊分化期、药隔分化期)历时天数的影响较大,这可能是由于温室环境中相对较高的温度造成的。

3.2 温度与幼穗分化各时期的关系

幼穗分化进程各时期与温度的关系表现出品种差异^[2]。本研究认为日均温对“郑麦 9023”护颖分化期的影响最大,其次是二棱期和小花分化期;对“周麦 18”药隔分化期的影响最大,其次是单棱期和二棱期。积温对“郑麦 9023”护颖分化期和“周麦 18”的药隔分化期、二棱期影响较大。总体来看,温度对“郑麦 9023”分化中期(二棱期、护颖分化期、小花分化期)的影响较大,对“周麦 18”分化前期和后期(单棱期、二棱期、药隔分化期)的影响较大。已有研究表明,在小麦幼穗分化过程中,小穗原基分化形成期和花粉母细胞到花粉粒形成期这两个时期对温度的要求比较严格,前者对低温敏感,后者则要求有一定的高温条件^[12]。本研究结果也证实了这一点,并且认为过高的温度对花粉母细胞到花粉粒形成期的影响是不利的,甚至起抑制作用。

随温度的升高,小麦幼穗分化进程加快。有研究表明,晚播条件下小麦幼穗分化中后期温度较高,幼穗分化速度快、历时短,将直接影响小穗小花的发育,进而影响产量^[2]。本研究表明,玻璃温室内由于温度较高,随播期推迟,小麦幼穗分化的进程存在品种间差异。

玻璃温室条件下温度对小麦幼穗分化的影响与大田条件下温度对小麦幼穗发育的影响不尽相同,这些差异一方面来自大田露天条件自然气候因子对小麦幼穗分化的影响,另一方面来自于不同品种在特殊年份的表现差异。本试验在玻璃温室条件下研究了温度升高与幼穗分化进程的关系,玻璃温室内温度既受外界环境温度的影响,同时由于自身结构的特点,具有一定的增温保温功能,这就为揭示应对气候变化背景下温度升高对小麦幼穗分化影响的研究提供了一种参考方法。但本研究仅单纯考虑温度对幼穗分化进程的影响,这就存在一定的局限性,关于气候变暖条件下其它气象因子对小麦幼穗分化过程的影响,有待进一步研究。

References:

- [1] Ma L J, He B R. Research advances on young spike differentiation of wheat. *Journal of Hubei Agricultural College*, 1999, 19(3): 272-275.
- [2] Xue X, Gao Q L. Effects of day length and temperature on the spike differentiation of winter wheat. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(4): 56-59.
- [3] Xiao G J, Zhang Q, Wang J. Impact of global climate change on agro-ecosystem: a review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1877-1885.
- [4] Wang Y X, Weng B Q, Huang Y B. Effects of global climate change on agriculture ecosystems and research strategy for the future. *Subtropical Agriculture Research*, 2006, 3(3): 203-208.
- [5] Zhang Q, Deng Z Y, Zhao Y D, Qiao J. The impacts of global climatic change on the agriculture in northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1210-1218.
- [6] Olmstead A L, Rhode P W. Adapting North American wheat production to climatic challenges, 1839—2009. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(2): 480-485.
- [7] Halse N J, Weir R N. Effects of temperature on spikelet number of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1974, 25(5): 687-695.
- [8] Semenov M A. Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Journal of the Royal Society Interface*, 2009, 6(33): 343-350.
- [9] Zhou L, Wang H J, Zhu H W. Simulation study on the impact of climate warming on production of winter wheat in Huang-Huai-Hai plain of China. *Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2003, 4(2): 76-82.
- [10] Zhang Y, Wang S L, Wang F T. Research on the possible effects of climate change on growth and yield of wheat in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2000, 11(3): 264-270.
- [11] Yu W D, Zhao G Q, Chen H L. Impacts of climate change on growing stages of main crops in Henan Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007, 28(1): 9-12.
- [12] Gao Q L, Xue X, Wu Y E, Ru Z G. Effects of sowing times on the spike differentiation of different wheat varieties under the climate of warm

winter. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(10): 1627-1631.

- [13] Halloran G M, Pennell A L. Duration and rate of development phases in wheat in two environments. Annals of Botany, 1982, 49(1): 115-121.
- [14] Cui J M. Research on spike differentiation process of wheat and the effects of temperature. Journal of Henan Agronomy College, 1982, 16(2): 1-12.
- [15] HAO Z, ZHAO X C, ZENG S J. A preliminary study on spike differentiation of winter wheat. Journal of Hebei Agronomy, 1983, 8(3): 8-12.
- [16] Zhang J P, Zhao Y X, Wang C Y, He Y. Effects of climate change on winter wheat growth and yield in North China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(7): 1179-1184.
- [17] Li T X, Zhao G Q, Li Y. Climate change and its impacts on duration of winter wheat overwintering stage in Henan Province. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(2): 143-146.

参考文献:

- [1] 马翎健, 何蓓如. 小麦幼穗分化研究进展. 湖北农学院学报, 1999, 19(3): 272-275.
- [2] 薛香, 郜庆炉. 光温生态因子对冬小麦幼穗分化的影响研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 56-59.
- [3] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1877-1885.
- [4] 王义祥, 翁伯琦, 黄毅斌. 全球气候变化对农业生态系统的影响及研究对策. 亚热带农业研究, 2006, 3(3): 203-208.
- [5] 张强, 邓振镛, 赵映东, 乔娟. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响. 生态学报, 2008, 28(3): 1210-1218.
- [9] 周林, 王汉杰, 朱红伟. 气候变暖对黄淮海平原冬小麦生长及产量影响的数值模拟. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2003, 4(2): 76-82.
- [10] 张宇, 王石立, 王馥棠. 气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究. 应用气象学报, 2000, 11(3): 264-270.
- [11] 余卫东, 赵国强, 陈怀亮. 气候变化对河南省主要农作物发育期的影响. 中国农业气象, 2007, 28(1): 9-12.
- [12] 郜庆炉, 薛香, 吴玉娥, 茹振钢. 暖冬条件下播期对不同类型小麦幼穗分化的影响. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1627-1631.
- [14] 崔金梅. 小麦幼穗发育进程及温度对其影响的研究. 河南农业大学学报, 1982, 16(2): 1-12.
- [15] 郝照, 赵雪晨, 曾淑君. 冬小麦穗分化研究初报. 河北农学报, 1983, 8(3): 8-12.
- [16] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 何勇. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1179-1184.
- [17] 李彤霄, 赵国强, 李有. 河南省气候变化及其对冬小麦越冬期的影响. 中国农业气象, 2009, 30(2): 143-146.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.15 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance	LI Fengrui, LIU Jiliang, HUA Wei, et al (4169)
Construction and comparative analysis of enriched microsatellite library from <i>Liposcelis bostrychophila</i> and <i>L. entomophila</i> genome	WEI Dandan, YUAN Minglong, WANG Baojun, et al (4182)
Development of EST-SSRs markers and analysis of genetic diversities among different geographical populations of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i>	YAN Xiwu, YU Zhifei, QIN Yanjie, et al (4190)
Genetic diversity of different generations of the Dalian population of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> through selective breeding	YU Zhifei, YAN Xiwu, YANG Fei, et al (4199)
Comparative study of spike differentiation in wheat in the glasshouse and field	JIANG Lina, ZHAO Yanling, SHAO Yun, et al (4207)
Effects of organic fertilizer on growth and endogenous hormone contents of wheat seedlings under salt stress	LIU Haiying, CUI Changhai, ZHAO Qian, et al (4215)
Impacts of climatic change on spring wheat growth in a semi-arid region of the Loess Plateau: a case study in Dingxi, Gansu Province	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (4225)
Dynamic changes in nitrogen and phosphorus concentrations and emission-reduction potentials in paddy field water under different tillage models	FENG Guolu, YANG Renbin (4235)
Effects of planting and straw returning of transgenic Bt maize on soil enzyme activities under field condition	YAN Shilei, ZHAO Lei, SUN Hongwei, et al (4244)
Effects of short-term flooding on <i>Geobacteraceae</i> spp. and <i>Anaeromyxobacter</i> spp. abundance in paddy soil	ZHU Chao, Stefan Ratering, QU Dong, et al (4251)
Adaptive adjustments of the sowing date of late season rice under climate change in Guangdong Province	WANG Hua, CHEN Xinguang, HU Fei, et al (4261)
Carbon and nitrogen sequestration rate in long-term fenced grasslands in Inner Mongolia, China	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (4270)
Ecosystems carbon storage and carbon sequestration potential of two main tree species for the Grain for Green Project on China's hilly Loess Plateau	LIU Yingchun, WANG Qiufeng, YU Guirui, et al (4277)
Wettability on plant leaf surfaces and its ecological significance	SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang (4287)
Seasonal dynamics of litter accumulation in major forest communities on the northern slope of Changbai Mountain, Northeast China	ZHENG Jinping, GUO Zhongling, XU Chengyang, et al (4299)
A comparative study of seed germination traits of 52 species from Gurbantunggut Desert and its peripheral zone	LIU Huiliang, SONG Mingfang, DUAN Shimin, et al (4308)
The reproductive ecological characteristics of <i>Sinosenecio jishouensis</i> (Compositae) and its endangerment mechanisms	DENG Tao, CHEN Gongxi, ZHANG Daigui, et al (4318)
Iterative algorithm for analyzing the influence of the proportion of permanently destroyed sites on the equilibrium abundances of species	SHI Peijian, GE Feng, YANG Qingpei (4327)
Physiological mechanism of foliage spraying paclobutrazol on increasing salt tolerance of <i>Jatropha curcas</i> seedlings	MAO Yiqing, ZHENG Qingsong, CHEN Jianmiao, et al (4334)
Spatial ecological niche of main insect borers in larch of Aershan	YUAN Fei, LUO Youqing, SHI Juan, et al (4342)
Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers <i>Sogatella furcifera</i> (Horváth) in Yunnan, 2009	SHEN Huimei, LÜ Jianping, ZHOU Jinyu, et al (4350)
Life history and the evolutionary significance of egg diapause in Changsha population of the rice grasshopper, <i>Oxya chinensis</i> (Orthoptera: Catantopidae)	ZHU Daohong, ZHANG Chao, TAN Ronghe (4365)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in "518" nectarine orchard	SHI Xiaoli, BI Shoudong, GENG Jiguang, et al (4372)
Dynamics of soil meso- and microfauna communities in Zoigê alpine meadows on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China	ZHANG Hongzhi, WU Pengfei, YANG Daxing, et al (4385)
Seasonal changes in waterbirds population and movements of Great Black-headed Gull <i>Larus ichthyaetus</i> at Keluke Lake of Qinghai, China	ZHANG Guogang, LIU Dongping, HOU Yunqiu, et al (4398)
Predictions of net carbon emissions based on the emissions and forest carbon sinks in Yunnan Province	LIU Huiya, WANG Zheng, MA Xiaozhe (4405)
Ecological water depletion by human use in Beijing City	BAI Yinglan, WANG Rusong, YAO Liang (4415)
Review and Monograph	
Research progress on regulation mechanism for the process of water transport in plants	YANG Qiliang, ZHANG Fucang, LIU Xiaogang, et al (4427)
Antibiotics in environmental matrices and their effects on microbial ecosystems	YU Shen, WANG Min, HONG Youwei (4437)
Anaerobic ammonium oxidation in natural ecosystems	SHEN Lidong, ZHENG Ping, HU Baolan (4447)
Scientific Note	
Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula	ZHANG Ying, LÜ Zhenbo, XU Zongfa, et al (4455)
Seasonal succession of crustacean zooplankton in relation to the major environmental factors in Lake Ulungur, Xinjiang	YANG Lili, ZHOU Xiaoyu, LIU Qigen, et al (4468)
Effect of different fertilization and irrigation practices on soil ammonia volatilization of Arecanut (<i>Areca catechu</i> L.)	LU Lilan, GAN Bingchun, XU Minghui, et al (4477)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 15 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 15 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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