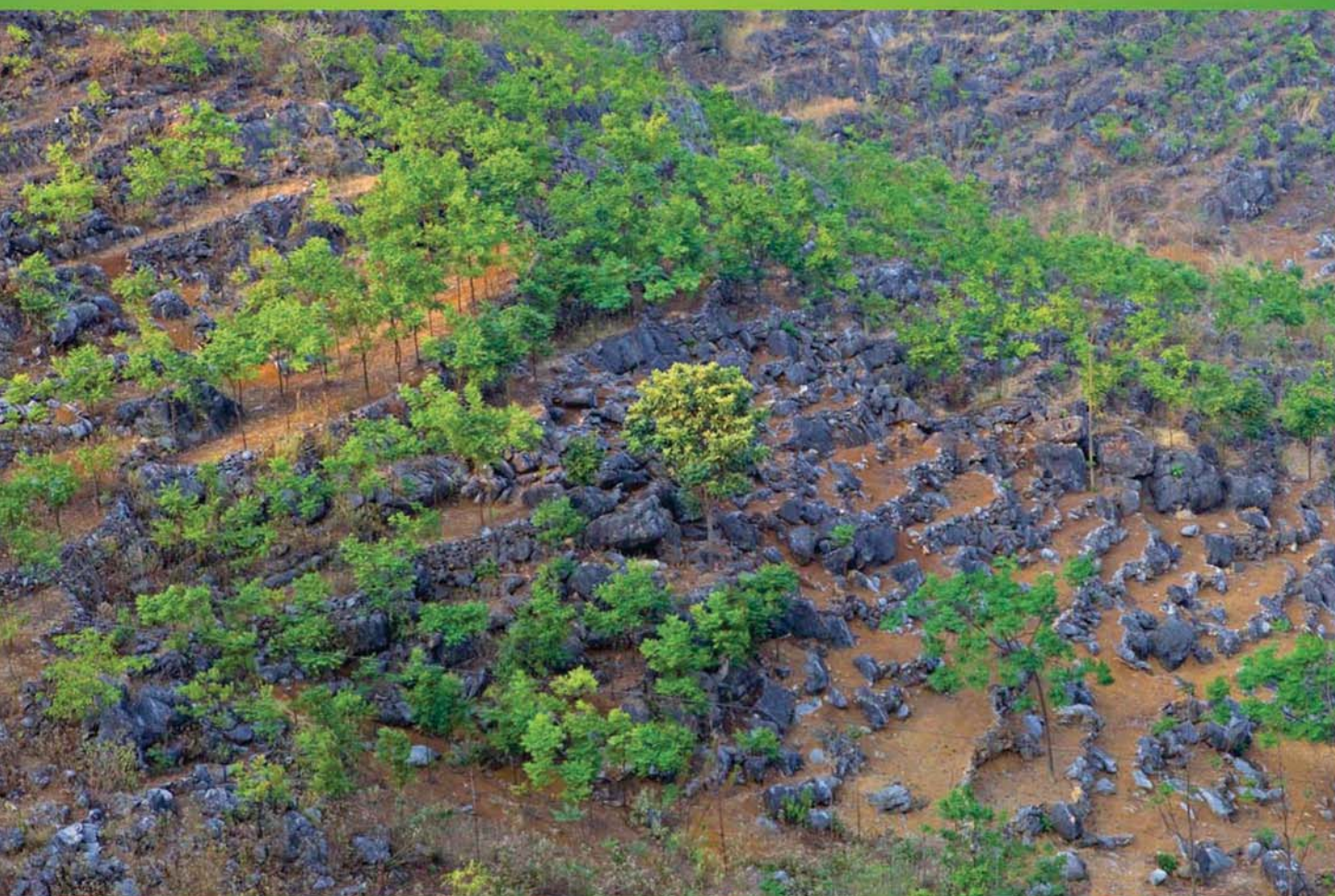


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

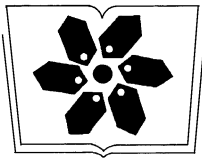
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

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 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的都市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201204290618

卞雅姣, 黄洁, 孙其松, 姜东, 江海东, 周琴. 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响. 生态学报, 2013, 33(15): 4623-4630.

Bian Y J, Huang J, Sun Q S, Jiang D, Jiang H D, Zhou Q. Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4623-4630.

模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和 淀粉含量及组分的影响

卞雅姣, 黄洁, 孙其松, 姜东, 江海东, 周琴*

(南京农业大学农业部南方作物生理生态重点开放实验室/江苏省信息农业高新技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘要:以宁麦 13 和徐麦 31 两种小麦(*Triticum aestivum*)品种为材料,通过盆栽试验研究了不同 pH 值酸雨对小麦产量和籽粒品质的影响。结果表明:模拟酸雨抑制了小麦的生长,减少了生物量的积累。pH 值 2.0 酸雨处理后宁麦 13 的单穗粒数和单茎产量分别较对照下降了 48.6% 和 56.7%,徐麦 31 则分别下降了 31.2% 和 39.7%,差异显著。小麦籽粒主要营养成分对酸雨胁迫响应不同,酸雨处理提高了籽粒氨基酸、蛋白质含量,pH 值 2.0 酸雨处理后,宁麦 13 和徐麦 31 小麦籽粒中氨基酸含量分别比对照高 36.6% 和 30.9%,总蛋白含量分别比对照高 20.6% 和 15.1%,均与对照差异显著。而小麦可溶性糖、淀粉和脂肪含量较对照降低,且总体表现为酸度增强变化幅度增大。不同蛋白组分也对酸雨胁迫反应不同,酸雨处理提高了籽粒中清蛋白和球蛋白含量,而降低了谷蛋白含量和谷/醇。pH 值 2.0 的酸雨处理后,宁麦 13 和徐麦 31 的清蛋白含量较对照分别增加了 13.1% 和 23.9%,但与对照差异不显著。酸雨胁迫降低了总淀粉和支链淀粉含量,宁麦 13 和徐麦 31 的 pH 值 2.0 酸雨处理总淀粉含量分别较对照下降了 11.8% 和 20.2%,与对照差异显著,但对直链淀粉含量影响不明显。可见酸雨不仅影响小麦的产量,而且对品质也有明显影响。酸雨处理尽管提高了籽粒总蛋白含量,但降低了谷蛋白和谷/醇,降低了其加工品质。

关键词:酸雨;小麦;产量;蛋白质;淀粉

Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars

BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, JIANG Dong, JIANG Haidong, ZHOU Qin*

Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology in Southern China / Jiangsu Province Hi-Tech Key Laboratory of Information Agriculture, Nanjing Agricultural University, National Center for Soybean Improvement, Nanjing 210095, China

Abstract: Acid rain is a worldwide important environmental problem, and might be a long-term trouble due to the rapid development of industry. The south area of Yangtze River is one major acid rain region in China, where crop production is severely limited by acid rain interacted with acid red soil. Wheat is the third largest crop in China and the second largest crop in Jiangsu province. Both yield and quality of wheat are of importance to food security. Wheat may suffer from acid rain stress during the whole stage, but the later growth stage of grain filling is more critical in determining grain yield and quality. Although the growth and physiological characteristics of crops exposed to acid rain have been broadly studied, little is known about the effect of acid rain on wheat quality. Here, effects of acid rain on wheat yield and quality in wheat were investigated. Two wheat (*Triticum aestivum*) cultivars of Ningmai 13 and Xumai 31 were selected in a pot experiment in Pailou experiment station in Nanjing Agricultural University, Jiangsu Province, China. Two acid rain treatments, i. e. by spraying solution of pH 2.0 and pH 4.0 were implemented, and that at pH 6.0 was set as control. Acid rain inhibited the

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31170475,30700483)

收稿日期:2012-04-29; 修订日期:2012-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qin Zhou@njau.edu.cn, hdjiang@njau.edu.cn

growth of wheat. The dry weight of leaf, stem and ear under both acid rain treatments all were reduced as compared with the control. Grain number per spike and yield per shoot of Ningmai 13 was significantly reduced by 48.6% and 56.9% due to acid rain of pH 2.0 as compared with pH 6.0, respectively, and those of Xumai 31 was significantly reduced by 31.2% and 40.1%. As to wheat grain quality, the influence of acid rain was more complicated. Contents of amino acids in wheat grain of Ningmai 13 and Xumai 31 under acid rain of pH 2.0 increased 36.6% and 30.9%, respectively, as compared with control. The content of total protein in grains of Ningmai 13 and Xumai 31 under acid rain of pH 2.0 increased 20.6% and 15.1%, respectively. Acid rain increased contents of albumin and globulin, while decreased content of glutenin and the ratio of glutenin to gliadin. Compared with the control, the albumin content at pH 2.0 in Ningmai 13 and Xumai 31 increased 13.1% and 23.9%, respectively, and the globulin content at pH 2.0 in Ningmai 13 and Xumai 31 increased 35.7% and 100%, respectively. The other protein was also increased by acid rain. While glutenin content at pH 2.0 in Ningmai 13 and Xumai 31 decreased 4.4% and 15.2%, respectively, as compared with the control. Acid rain decreased contents of soluble sugar, starch and fat in wheat grain. The total starch content of Ningmai 13 and Xumai 31 under acid rain of pH 2.0 decreased 11.8% ($P < 0.05$) and 20.2% ($P < 0.05$), respectively. Acid rain also reduced amylopectin content, but has little effect on amylose content. As a result, the ratio of amylopectin to amylose was also decreased, although the difference was not significant. It is concluded that acid rain influenced both wheat yield and quality. Although acid rain enhanced protein content, grain quality was negatively affected as exemplified by the decreased glutenin content and ratio of glutenin to gliadin and amylopectin to amylose.

Key Words: simulated acid rain; wheat; yield; protein; starch

酸沉降是当前世界重大的环境问题之一^[1]。我国重酸雨区的面积由 2002 年占国土面积的 4.9% 增加到 2005 年的 6.1%^[2]。小麦是江苏省第二大农作物, 由于其主要在冬春季节生长, 此期酸雨酸度较强^[3], 遭受酸雨危害的频率更高。一定强度的酸雨会破坏植物叶表面的蜡质层和角质层, 损害植物的表皮结构^[4], 使叶片表面出现坏死斑点^[5-6], 酸雨也会伤害叶绿体, 降低叶绿素含量^[7], 从而影响植物正常的光合作用^[8-9], 最终导致生物量或产量下降。酸雨不仅影响农作物的产量, 对品质也有明显影响。梁骏^[6]研究显示酸雨胁迫导致油菜粗脂肪、可溶性糖含量下降, 且随着酸度增强, 粗脂肪与可溶性糖降低幅度增大。Khan^[10]等通过盆栽试验发现, 菜豆的糖、氮以及蛋白质含量随着酸雨酸度增强而下降, 致使其品质降低。Evans^[11]等的研究认为, 酸雨胁迫会导致 *Amsoy* 品种大豆蛋白质的含量显著降低。麦博儒^[12]研究显示小麦籽粒蛋白质和淀粉含量均随着酸雨酸度的增强逐步下降。淀粉和蛋白质是小麦籽粒的重要组成部分, 其含量和组分决定了小麦籽粒的产量和品质。酸雨对小麦生长的影响, 前人已有一定研究, 但对小麦品质影响研究较少, 尤其是对决定小麦籽粒营养品质和加工品质的蛋白质组分方面缺少研究, 在人们对粮食品质要求越来越高的情况下, 探讨酸雨对小麦品质的影响具有重要的现实意义。本试验以宁麦 13 和徐麦 31 两个小麦品种为试验材料, 研究酸雨对小麦产量、籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响, 以为小麦抗逆调优栽培及酸雨灾害评估提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小麦品种为宁麦 13 和徐麦 31。

1.2 模拟酸雨配置

酸母液: 根据江苏省实测降水中 SO_4^{2-} 与 NO_3^- 的摩尔浓度之比 (约 5:1)^[13], 制备 0.25 mol/L H_2SO_4 和 0.05 mol/L HNO_3 溶液, 将两者等体积混合作为模拟酸雨的酸母液。

电解质母液: 制备酸雨成分 1000 倍的电解质母液, 母液中含 CaCl_2 3.1 g/L, NH_4Cl 2.8 g/L, NaCl 0.91 g/L 和 KCl 0.75 g/L。

模拟酸雨:将电解质母液稀释 1000 倍,用酸母液将其调节至需要的 pH 值。模拟酸雨的 pH 值分别设为 6.0、4.0、和 2.0,其中以 pH 值 6.0 的溶液作为对照(CK)。

1.3 试验设计

试验于 2010—2011 在南京农业大学牌楼试验站进行,采用盆栽法,供试土壤为黄棕壤,自然风干后装入高 20 cm,直径 25 cm 的塑料盆中,每盆土重 7 kg。每盆施用全 N 1.06 g, P_2O_5 0.74 g, K_2O 2.43 g,其中氮肥基追比为 3:2,同时施用沼肥 21 g,播种前基肥与土充分混匀后装盆,追肥于拔节期施用。每盆播种 10 粒,3 叶期定苗,每盆留苗 5 株。于抽穗期(2011 年 4 月 14 日)进行酸雨处理,酸雨酸度分别为 pH 值 4.0 和 pH 值 2.0,以 pH 值 6.0 的为对照,每次喷施量相当于 3 mm 降雨量,喷施频率为 1 次/3 d,总喷施次数为 12 次。试验为随机区组设计,4 次重复。开花期选择同一天开花麦穗挂牌标记,分别于开花期(2011 年 4 月 27 日)、灌浆前期(2011 年 5 月 7 日)和灌浆后期(2011 年 5 月 17 日)取样,进行各项指标的测定,成熟期收获,调查产量构成因素,并进行品质性状测定。

1.4 测定项目与方法

生物量测定,选取大小一致的植株,按茎鞘、旗叶、其余叶和穗区分,105 °C 杀青 30 min,80 °C 烘干至恒量后称干重。产量构成因素:小麦成熟期测定单株有效穗数、单穗粒数和千粒重、退化小穗数、结实小穗数。

游离氨基酸总量测定采用茚三酮溶液显色法^[14]。可溶性糖采用蒽酮比色法^[14]。蛋白质组分采用连续提取法^[15],蛋白质含量测定采用半微量凯氏定氮法^[14],以含氮量乘以 5.7 计算籽粒蛋白质含量。籽粒直链淀粉、支链淀粉含量用双波长比色法测定^[15]。脂肪含量采用索氏提取法提取^[15]。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 软件处理试验数据,采用 DPS 软件的 LSD 法对试验数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 酸雨对小麦生物量的影响

2.1.1 对小麦叶片干重的影响

不同酸度酸雨对小麦叶片干重的影响如图 1 所示,酸雨处理后,两个品种小麦叶片干重总体呈下降趋势,且酸度越强,降低幅度越大。pH 值 2.0 酸雨处理后,宁麦 13 各时期叶片干重分别较对照下降了 19.7%、20.3%、33.3%、22.7%,差异显著;pH 值 4.0 的酸雨处理的宁麦 13 各个时期叶片干重分别较对照下降了 11.5%、6.2%、18.2%、4.5%,但仅灌浆后期与对照差异显著;pH 值 2.0 酸雨处理后,徐麦 31 叶片干重各个时期较对照分别下降了 15.7%、10.4%、17.1%、46.2%;pH 值 4.0 的酸雨处理的徐麦 31 各个时期叶片干重较对照分别下降了 23.5%、2.1%、22.8%、26.9%,pH 值 2.0 和 pH 值 4.0 酸雨处理的徐麦 31 从灌浆后期与对照差异显著,其余时期与对照差异不显著。

2.1.2 对小麦茎鞘干重的影响

不同酸度酸雨对小麦茎鞘干重的影响如图 2 所示,各处理小麦的茎鞘干重随生育进程呈先略上升后下降的趋势。酸雨处理后,两个品种小麦茎鞘干重总体低于对照,且降低幅度随着酸雨酸度的增大而增大。经 pH 值 2.0 的模拟酸雨处理后,两个品种小麦各时期的茎鞘干重均与对照差异显著。pH 值 4.0 酸雨处理后,宁麦 13 的茎鞘干重从灌浆前期开始显著低于对照($P<0.05$);徐麦 31 的茎鞘干重仅在开花期和灌浆后期显著低于对照($P<0.05$),其余时期与对照差异不显著。

2.1.3 对小麦穗干重的影响

不同酸度酸雨对小麦穗干重的影响如图 3 所示,各处理小麦的穗干重均随时间呈上升的趋势。酸雨处理后,两个品种小麦穗干重在各个时期与对照相比均呈下降趋势,且下降幅度随酸度的增大而增大。pH 值 2.0 酸雨处理后,宁麦 13 各时期的穗干重分别较对照下降了 17.0%、26.5%、42.7%、47.2%,从灌浆前期开始与对照差异显著;徐麦 31 各时期分别较对照下降了 20.0%、4.1%、20.1%、35.3%,从灌浆后期开始与对照差异显著。pH 值 4.0 酸雨处理后,宁麦 13 灌浆后期和成熟期及徐麦 31 灌浆后期穗干重与对照差异显著,其余时

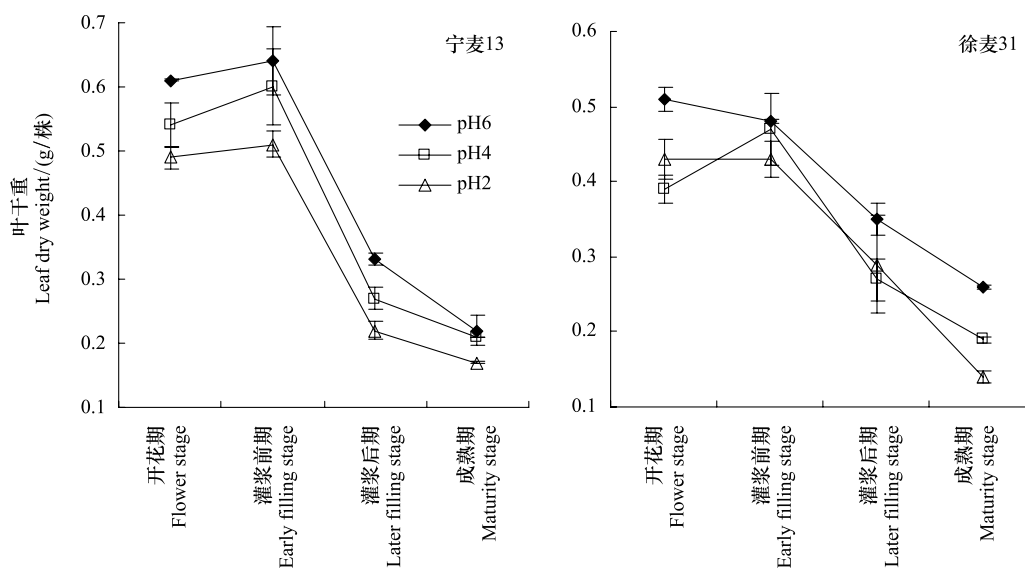


图1 模拟酸雨对宁麦13和徐麦31叶片干重的影响

Fig. 1 Effects of acid rain on leaf dry weight of Ningmai 13 and Xumai 31

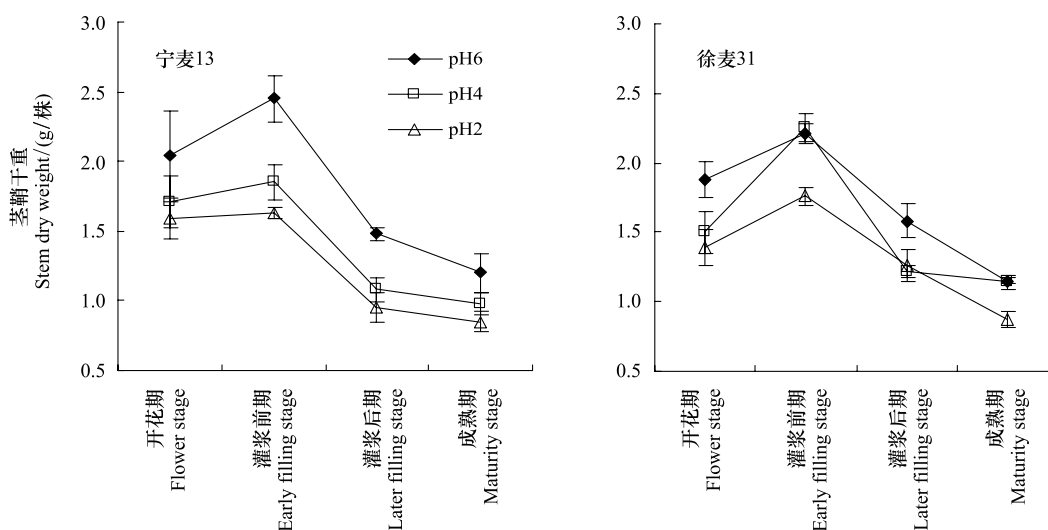


图2 模拟酸雨对宁麦13和徐麦31茎秆干重的影响

Fig. 2 Effects of acid rain on stem dry weight of Ningmai 13 and Xumai 31

期差异不显著。

2.2 模拟酸雨对小麦产量及产量构成因素的影响

不同酸度酸雨对小麦产量及产量构成因素的影响如表1所示,酸雨处理对有效穗略有影响,宁麦13的pH值2.0的处理有效穗显著下降,降低幅度为9.6%,pH值4.0处理和对照差异不显著;而徐麦31的pH值4.0处理有效穗比对照略高,而pH值2.0处理略低,但均差异不显著。酸雨处理显著降低了两个小麦品种单穗粒数、结实小穗数和产量,显著增加了退化小穗数,且酸性越强,降低或增加幅度越大。与对照相比,pH值2.0酸雨处理宁麦13的单穗粒数和单茎产量分别下降了48.6%和56.7%,徐麦31分别下降了31.2%和39.7%,退化小穗数宁麦13和徐麦31分别较对照增加了10倍和29倍。

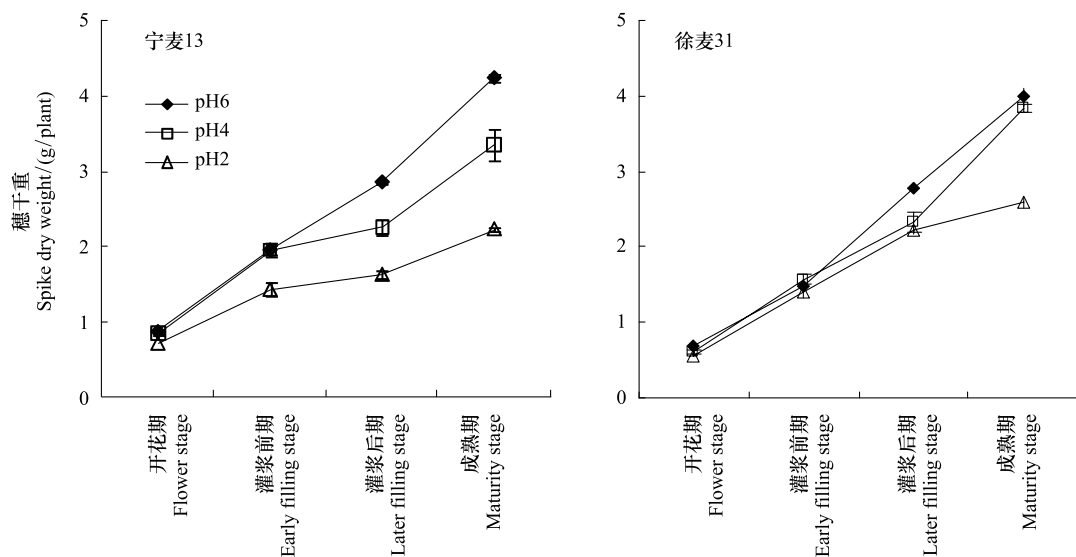


图3 模拟酸雨对宁麦13和徐麦31穗干重的影响

Fig.3 Effects of acid rain on spike dry weight of Ningmai 13 and Xumai 31

表1 酸雨对两个品种小麦产量及产量构成因素的影响

Table 1 Effects of acid rain on yield and yield components in two wheat cultivars							
品种 Cultivar	处理 pH 值 pH of Treatment	有效穗数 Ear number per plant	单穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1000 grain weight/g	退化小穗数 Degraded spikelet per plant	结实小穗数 Fertile spikelet per spike	产量 Yield /(g/单茎)
宁麦 13 Ningmai13	6	7.3 a	69.0 a	37.92 a	0.3 d	19.0 b	2.61 a
	4	7.2 a	52.4 c	36.31 b	1.7 c	17.0 c	1.90 d
	2	6.6 b	35.5 e	31.79 c	3.3 a	16.3 c	1.13 f
徐麦 31 Xumai31	6	6.5 b	68.2 a	36.34 b	0.1 d	22.3 a	2.47 b
	4	6.6 b	61.8 b	37.05 b	1.3 c	20.3 b	2.20 c
	2	6.2 b	46.9 d	31.67 c	3.0 b	17.0 c	1.49 e

表中不同小写字母表示差异显著

2.3 酸雨对小麦蛋白质含量及其组分的影响

不同酸度酸雨对小麦籽粒蛋白质含量及组分的影响如表2所示,酸雨处理提高了小麦籽粒中总蛋白、清蛋白、球蛋白和剩余蛋白含量,且酸度越强,增加幅度越大。宁麦13和徐麦31 pH值2.0处理的总蛋白含量分别比对照高20.6%和15.1% ($P<0.05$)。宁麦13 pH值2.0处理的剩余蛋白含量显著高于对照,徐麦31球蛋白含量显著高于对照,而其它处理与对照差异不显著。醇溶蛋白含量随酸雨酸度的增加呈现先降低后增加的趋势,两个小麦品种趋势基本一致。酸雨处理降低了谷蛋白含量,尤其是徐麦31的pH值2.0处理,显著低于对照,仅为对照的84.8%。pH值4.0处理的谷/醇略高于对照,其它各酸雨处理的谷/醇均低于对照。

表2 酸度酸雨对两个品种小麦籽粒蛋白质及其组分含量的影响

Table 2 Effects of acid rain on contents of crude protein and its components in two wheat cultivars								
品种 Cultivar	处理 pH 值 pH of treatment	总蛋白 Protein /%	清蛋白 Albumin /%	球蛋白 Globulin /%	醇溶蛋白 Gliadin /%	谷蛋白 Glutenin /%	谷/醇 Glutenin/ Gliadin	剩余蛋白 Other protein /%
宁麦 13 Ningmai13	6	11.41 c	2.21 c	1.29 b	3.35 cd	2.71 ab	0.81	1.85 b
	4	12.04 bc	2.38 c	1.60 ab	3.17 d	2.49 b	0.79	2.39 ab
	2	13.76 b	2.50 bc	1.75 ab	3.97 ab	2.59 b	0.65	2.96 a
徐麦 31 Xumai31	6	14.05 b	3.18 ab	1.15 b	4.13 a	3.03 a	0.73	2.55 ab
	4	14.55 b	3.63 ab	1.71 ab	3.65 bc	2.88 ab	0.78	2.69 a
	2	16.17 a	3.94 a	2.30 a	4.24 a	2.57 b	0.61	3.11 a

2.4 酸雨对小麦籽粒淀粉及组分的影响

不同酸度酸雨对小麦籽粒淀粉及组分的影响如表 3 所示,酸雨处理降低了籽粒总淀粉、支链淀粉的含量和支/直比,且酸度越强,下降幅度越大,但对直链淀粉影响较小。pH 值 4.0 酸雨处理后,宁麦 13 和徐麦 31 的总淀粉含量分别下降了 6.5% 和 16.8%。pH 值 2.0 酸雨处理后,宁麦 13 和徐麦 31 的总淀粉含量分别下降了 11.8% 和 20.2%,与对照差异显著,支链淀粉分别下降了 14.7% 和 23.1%,与对照差异不显著。

酸雨处理降低了籽粒中可溶性糖含量,宁麦 13 籽粒中可溶性糖含量与对照相比差异不显著;徐麦 31 pH 值 2.0 酸雨处理籽粒可溶性糖含量较对照低 22.0%,与对照差异显著,pH 值 4.0 酸雨处理与对照相比差异不显著。

各处理小麦籽粒中的氨基酸含量随着酸雨酸度的增大而增加。pH 值 2.0 酸雨处理后,宁麦 13 和徐麦 31 小麦籽粒中氨基酸含量分别比对照高 36.6% 和 30.9%,与对照差异显著。pH 值 4.0 酸雨宁麦 13 籽粒中氨基酸与对照差异不显著,徐麦 31 显著高于对照。小麦籽粒的脂肪含量随着酸雨酸度增强而下降,pH 值 2.0 酸雨处理后宁麦 13 和徐麦 31 的脂肪含量分别比对照低 9.3% 和 10.8%,均与对照差异显著。

表 3 酸度酸雨对两个品种小麦淀粉、可溶性糖、氨基酸和脂肪含量的影响

Table 3 Effects of acid rain on contents of starch, soluble sugar, free amino acid and fat in two wheat cultivars

品种 Cultivar	处理 pH 值 pH of Treatment	总淀粉 Starch /%	直链淀粉 Amylose /%	支链淀粉 Amylopectin /%	支/直 Amylopectin /Amylose	可溶性糖 Soluble sugar content/%	氨基酸 Free amino acid content /($\mu\text{g/g}$)	脂肪 Fat content /%
宁麦 13	6	72.0a	14.1a	57.9a	4.20a	5.57a	157.3c	2.04a
Ningmai13	4	67.3b	13.0a	54.3a	4.01a	4.19ab	165.8c	1.92ab
	2	63.5bc	14.1a	49.4ab	3.53ab	4.81ab	214.9a	1.85b
徐麦 31	6	68.3ab	13.8a	54.5ab	3.66ab	4.04bc	149.6c	1.86b
Xumai31	4	56.8cd	13.5a	43.3b	3.28b	3.62cd	198.3b	1.76bc
	2	54.5d	12.6a	41.9b	3.29b	3.15d	195.9b	1.66c

3 讨论

酸雨对植物的影响最终反映到植物的生长上,生物量和产量是小麦生长状况良好与否的重要指标。本研究结果显示强酸雨(pH 值 ≤ 4.0)胁迫下,小麦的生物量和籽粒产量显著下降,这与麦博儒^[7]、梁骏^[6]等研究结论一致。在产量构成因素中,小麦穗粒数对酸雨胁迫最为敏感,这可能是因为抽穗期开始喷施酸雨,不仅对幼嫩麦穗产生直接伤害,也影响了小麦开花和受精,使得退化小穗和小花数显著增多,降低了籽粒结实率,从而最终显著影响产量。酸雨胁迫下,徐麦 31 生物量和产量降低幅度均小于宁麦 13,表明徐麦 31 抗酸雨能力强于宁麦 13。

蛋白质是小麦籽粒重要组成部分,既是重要的营养成分,衡量加工品质的重要指标^[16],同时也是氮代谢途径的重要产物。酸雨胁迫对作物含氮物质含量的影响,研究结果不尽一致,有研究者认为酸雨抑制氮代谢,降低蛋白质含量。如 Solomonson^[17]研究结果指出,小麦籽粒总氮的含量在 pH 值 5.0—4.0 范围内变化不大,但是在 pH 值 4.0 及以下酸雨胁迫下,随酸雨 pH 值的降低而降低。麦博儒等^[12]、郑有飞等^[18]研究也显示,酸雨处理降低小麦和油菜籽粒中蛋白质含量,总体表现为酸度越强,下降幅度越大。但也有研究者持相反观点,认为酸雨对氮代谢有一定的促进作用。梁永超^[19]研究显示酸雨处理提高了小麦根系和地上部的含 N 量。Kumaravelu 等^[20]的研究表明,在酸雨胁迫下,绿豆中叶片蛋白质含量升高。本试验结果与后者比较一致,酸雨处理提高了小麦籽粒游离氨基酸和蛋白质含量,且酸度越大,上升趋势越显著。这可能是由于酸度越强,酸雨中的 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 越多,氮是蛋白质合成的前体,硫是半胱氨酸、胱氨酸和蛋氨酸等含硫氨基酸的重要成分^[18]。当喷施酸雨时,小麦在受到酸胁迫的同时,也相当于增施了氮、硫肥,因此小麦籽粒中游离氨基酸和总蛋白质含量上升。同时酸雨胁迫,对小麦生长有一定抑制作用,生物量和籽粒产量下降,也会对籽粒蛋白质

含量有一个浓缩效应。不同研究者的结论不同,这可能和不同作物、不同抗性品种、不同喷施时期、不同酸雨成分及不同喷施频率和强度等因素有关。

酸雨对不同蛋白组分影响不同,清蛋白和球蛋白以参与代谢活动的酶类为主,与面粉的营养品质密切相关。本研究结果显示,酸雨处理提高了清蛋白和球蛋白含量,可见酸雨对小麦营养品质有明显的促进作用。醇溶蛋白和谷蛋白是贮藏蛋白,是小麦面筋的主要成分,与面粉加工品质密切相关,尤其谷蛋白是决定小麦面粉筋力的主要因素。本研究结果显示酸雨处理降低了谷蛋白含量,尤其是 pH 值 2.0 酸雨处理显著下降。由于稀酸会破坏谷蛋白大聚合体的一级结构,导致聚合体降解^[21],因此谷蛋白含量下降可能和谷蛋白大聚合体含量下降有关。pH 值 4.0 处理降低了醇溶蛋白含量,而 pH 值 2.0 酸雨处理提高了醇溶蛋白含量,但 pH 值 2.0 和 pH 值 4.0 处理的小麦籽粒谷/醇比显著低于对照,可见酸雨处理尽管对营养品质有一定正面作用,但对加工品质有明显负面影响。两个小麦品种相比较,徐麦 31 各处理籽粒总蛋白含量总体高于宁麦 13,酸雨处理后升高幅度低于宁麦 13,而谷蛋白含量降低幅度要高于宁麦 13,可见酸雨对徐麦 31 加工品质的负面影响要大于宁麦 13。

淀粉是小麦籽粒的重要组成部分,其含量与支/直比决定了面条、馒头制品的品质^[22]。本研究结果显示,酸雨处理降低了小麦籽粒淀粉含量,尤其是支链淀粉含量下降明显,这与麦博儒等^[12]研究结论一致。淀粉含量的降低可能与酸雨胁迫抑制糖代谢有关,酸雨处理降低了籽粒中可溶性糖的含量,而可溶性糖是淀粉合成的前体物质,其含量的高低与淀粉积累密切相关^[23]。麦博儒、梁俊等^[6-7]也有类似报道。

尽管小麦籽粒中脂肪含量较低,但与面团品质、加工品质密切相关,脂肪可使面制品组织细腻、柔软,并延缓淀粉的老化^[24-25]。本研究结果显示酸雨处理降低了小麦籽粒中脂肪含量,酸度越强,下降幅度越大。梁骏等^[6]研究指出,双低油菜籽粒粗脂肪与酸雨 pH 值呈显著正相关。本研究结果与此一致。

可见酸雨不仅影响小麦的产量,而且对品质也有明显影响。酸雨处理提高了籽粒总蛋白含量,降低了淀粉含量,不同蛋白组分和淀粉组分对酸雨胁迫响应不同,清、球蛋白含量上升,谷蛋白含量下降,进而导致谷/醇比下降,支链淀粉含量也下降。而小麦籽粒淀粉和蛋白质组分的改变会影响其加工品质,因此未来还需进一步加强酸雨胁迫对加工品质影响的研究。

References:

- [1] Feng L L, Yao F F, Wang X H, Yang Q S, Yang H B, Ding H M. Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(7): 1911-1917.
- [2] Cao J K. Grasp the opportunity of 11th Five-Year Plan in review of the 10th Five-Year Plan; understanding "National acid rain and sulfur dioxide pollution prevention of the 11th Five-Year Plan". *Environmental Education*, 2008, (3): 42-44.
- [3] Liu M, Pu M J, Yin D P, Zhang B. A Study of acid rain space-time distribution and potential influencing factors in Jiangsu Province. *Meteorological Science and Technology*, 2008, 36(4): 462-467.
- [4] Qiu D L, Liu X H. Effects of simulated acid rain on chloroplast activity in *Dimorcarpus longana* Lour. cv. wulongling leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(12): 1559-1562.
- [5] Bruno F S, Luzimar C, Aristea A A, Azevedo A A, Marcos J, Alves E F, Silva E M, Aguiar R. Effects of simulated acid rain on the foliar micromorphology and anatomy of tree tropical species. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 58(1/3): 158-168.
- [6] Liang J, Mai B R, Zheng Y F, Li L, Tang X Y, Wu R J. Effects of simulated acid rain on the growth, yield and quality of rape. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 274-283.
- [7] Mai B R, Zheng Y F, Liang J, Liu X, Li L, Zhong Y C. Effects of simulated acid rain on leaf photosynthate, growth and yield of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2227-2233.
- [8] Wang R Y, Yao T F, Wang H L, Zhao H. Effects of simulated acid rain on photosynthetic characteristics of gas exchange and yield of field-grown spring wheat at the booting stage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(1): 237-241.
- [9] Tong G H, Cheng B, Hu Y H. Effect of simulated acid rain and its acidified soil on the biomass and some physiological activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(9): 1207-1214.
- [10] Khan T I, Devpura S. Physiological and biochemical effects of simulated acid rain on *phaseolus vulgaris* Var. HUR-15. *The Environmentalist*, 2004, 24(4): 223-226.
- [11] Evans L S, Lewin K F, Conway C A, Patti M J. Seed yields (quantity and quality) of field-grown soybeans exposed to simulated acidic rain. *The*

- New Phytologist, 1981, 89(3): 459-470.
- [12] Mai B R, Zheng Y F, Wu R J, Liang J, Liu X. Effect of different pH simulated acid rains on nutrition quality of winter wheat grains. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3883-3891.
- [13] Jin H B, Si W. The present acid rain pollution condition and trend analysis of Jiangsu Province. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 2000, 13(4): 22-23.
- [14] Li H S. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000: 186-194.
- [15] He Z F. Analysis Technique for Grain Quality of Cereals and Oils. Beijing: Agricultural Press, 1985: 37-59.
- [16] Li W Y, Yan S H, Wang Z L. Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(1): 265-273.
- [17] Solomonson L P, Spehar A M. Model for regulation of nitrate assimilation. *Nature*, 1977, 265(5592): 373-375.
- [18] Zheng Y F, Li L, Liang J, Li H S, Mai B R. Effect of SO_4^{2-} in simulated acid rain on growth and quality of rapeseed. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2008, 30(2): 185-190.
- [19] Liang Y C, Shen Q R, Zhang A G, Shen Z G. Effect of calcium and silicon on growth of and nutrient uptake by wheat exposed to simulated acid rain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 589-592.
- [20] Kumaravelu G, Pamanujam M P. Effect of simulated acid rain on nodulation and nitrogen metabolism in *Vigna radiata* cultivars. *Biologia Plantarum*, 1998, 41(3): 445-450.
- [21] Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke W S, Courtin C M, Gebruers K, Delcour J A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Technology*, 2005, 16(1): 12-30.
- [22] Zhao C X, Ma D H, Wang Y F, Lin Q. Effects of nitrogen application rate and post-anthesis soil moisture content on the flag leaf senescence and kernel weight of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2388-2393.
- [23] Li Y J, Xiong Y, Lv Q, Chen M C, Luo B S. Studies on the dynamic changes of soluble sugar contents in leaf, stem and grain in different winter wheats and the relationship with grain starch contents. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(11): 2219-2226.
- [24] Zhang S W. The Bread Science and the Processing. Beijing: China Light Industry Press, 1996.
- [25] Magnus E M, Brathen E, Sahlstrom S, Vogt G, Faergestad E M. Effects of flour composition, physical dough properties and baking process on hearth loaf properties studied by multivariate statistical methods. *Journal of Cereal Science*, 2000, 32(2): 199-212.

参考文献:

- [1] 冯丽丽, 姚芳芳, 王希华, 杨庆松, 杨海波, 丁慧明. 低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响. *生态学报*, 2011, 31(7): 1911-1917.
- [2] 曹靖凯. 回顾十五, 把握十一五解读《国家酸雨和二氧化硫污染防治“十一五”规划》. *环境教育*, 2008, (3): 42-44.
- [3] 刘梅, 濮梅娟, 尹东屏, 张备. 江苏省酸雨时空分布特征及酸雨潜势预报因子. *气象科技*, 2008, 36(4): 462-467.
- [4] 邱栋梁, 刘星辉. 模拟酸雨对龙眼叶绿体活性的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(12): 1559-1562.
- [6] 梁骏, 麦博儒, 郑有飞, 李璐, 唐信英, 吴荣军. 模拟酸雨对油菜 (*Brassica napus* L.) 生长、产量及品质的影响. *生态学报*, 2008, 28(1): 274-283.
- [7] 麦博儒, 郑有飞, 梁骏, 刘霞, 李璐, 钟艳川. 模拟酸雨对小麦叶片同化物、生长和产量的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2227-2233.
- [8] 王润元, 姚桃峰, 王鹤龄, 赵鸿. 孕穗期模拟酸雨对春小麦叶片光合气体交换特性及产量的影响. *草业学报*, 2011, 20(1): 237-241.
- [9] 童贯和, 程滨, 胡云虎. 模拟酸雨及其酸化土壤对小麦幼苗生物量和某些生理活动的影响. *作物学报*, 2005, 31(9): 1207-1214.
- [12] 麦博儒, 郑有飞, 吴荣军, 梁骏, 刘霞. 不同 pH 模拟酸雨对冬小麦籽粒营养品质的影响. *生态学报*, 2010, 30(14): 3883-3891.
- [13] 金浩波, 司蔚. 江苏省酸雨污染现状及趋势分析. *江苏环境科技*, 2000, 13(4): 22-23.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 186-194.
- [15] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术. 北京: 农业出版社, 1985: 37-59.
- [16] 李文阳, 闫素辉, 王振林. 强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应. *生态学报*, 2012, 32(1): 265-273.
- [18] 郑有飞, 李璐, 梁骏, 李红双, 麦博儒. 模拟酸雨及其 SO_4^{2-} 离子对油菜生长及品质的影响. *中国油料作物学报*, 2008, 30(2): 185-190.
- [19] 梁永超, 沈其荣, 张爱国, 沈振国. 钙、硅对酸雨胁迫下小麦生长和养分吸收的影响. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 589-592.
- [22] 赵长星, 马东辉, 王月福, 林琪. 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶衰老及粒重的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2388-2393.
- [23] 李友军, 熊瑛, 吕强, 陈明灿, 骆炳山. 不同类型专用小麦叶、茎、粒可溶性糖变化与淀粉含量的关系. *中国农业科学*, 2005, 38(11): 2219-2226.
- [24] 张守文. 面包科学与加工工艺. 北京: 中国轻工业出版社, 1996.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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 赵景柱

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 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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@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 90.00 元