

# 气候暖干化背景下东北地区旱涝时空演变特征

韩晓敏, 延军平

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** [目的] 从旱涝灾害角度探讨气候变化对东北地区的影响, 以期充分利用气候资源, 为农业领域应对气候变化的对策措施提供理论依据。[方法] 统计东北地区 1956—2012 年 50 个气象站的逐月气温、降水资料, 通过样条插值法、Mann—Kendall 检测及 Z 指数方法对该区降水及旱涝时空演变特征进行分析。[结果] (1) 近 57 a 东北地区气候整体呈现暖干化的趋势; (2) 半湿润区增温幅度最大, 达 0.34 °C/10 a, 湿润区相对较低, 为 0.25 °C/10 a。半湿润区降水减少趋势最为明显, 为 -8.82 mm/10 a。(3) 东北全区、半干旱区、半湿润区 Z 指数变化一致, 呈现出“涝—旱—涝—旱”的演变特征。(4) 大涝频率高值中心分布于小兴安岭北部和三江平原、嫩江流域北部等; 大旱频率高值中心集中分布于东北地区西部。[结论] 东北地区气候暖干化的趋势给该区农牧业带来不利影响, 受旱地区应及时启动干旱预警方案, 开展抗旱工作。

**关键词:** 旱涝灾害; 暖干化; 时空分布; 东北地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0314-05

中图分类号: P426.6

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.055

## Spatiotemporal Evolution of Drought and Flood Under Drying-warming Climate in Northeast China

HAN Xiaomin, YAN Junping

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** [Objective] This paper elucidated the impacts from climate change to flood and drought in Northeast China in order to make full use of climatic resources, and to provide scientific basis for agricultural countermeasures to climate change. [Methods] Data of monthly temperature and precipitation of 50 stations in Northeast China from 1956 to 2012 were used to illustrate the spatiotemporal features of droughts and floods in this area by Spline interpolation, Mann—Kendall test and Z Index. [Results] (1) The area appeared a trend of warming and drying as a whole in recent 57 years. (2) Temperature in sub-humid area increased by 0.34 °C/10 a. In humid area, it was relatively low as 0.25 °C/10 a. Precipitation in sub-humid area decreased obviously as high as -8.82 mm/10 a. (3) Z indexes in the whole area, semi-arid and sub-humid area showed an evolutionary features as “flood-drought-flood-drought”. (4) The centers attacked by high frequency of large floods were Sanjiang Plain, North of Lesser Khingan Mountains and Nenjiang River Valley, and so on. While, the western area was much more frequently to suffer severe drought. [Conclusion] The ecological environment of this area is fragile, in order to offset the negative influences of drying-warming trend to farming and animal husbandry in drought-attacked areas, emergency works should be planned as early as possible to relief drought timely.

**Keywords:** drought and flood disasters; drying-warming; spatiotemporal distribution; Northeast China

近年在全球气候变暖的大背景下, 极端气候事件频发。据统计, 平均每年气象灾害造成的直接经济损失高达全国 GDP 的 3%~6%, 旱涝为对中国农业生产影响最严重的自然灾害<sup>[1]</sup>。东北地区作为我国重要的商品粮基地, 其频繁发生的旱灾、洪涝灾害、低温

冷害等气象灾害严重影响了该区的农业可持续发展, 特别是在全球变暖的大背景下, 突发性及致灾性的气象灾害明显增多<sup>[2]</sup>。目前, 从农业气象灾害角度研究东北各省历史变化趋势文章较多<sup>[3]</sup>, 而从旱涝特征本身作详细分析的较少。本研究利用样条插值法、

收稿日期: 2014-05-10

修回日期: 2014-06-27

资助项目: 国家自然科学基金资助项目“部分重大自然灾害的时空对称性: 结构、机理与适应对策”(41171090)

第一作者: 韩晓敏(1988—), 女(汉族), 山西省长治市人, 硕士研究生, 研究方向为全球气候变化与灾害防治研究。E-mail: hanxiaominsnnu@163.com。

Mann—Kendall 检测及 Z 指数方法对该地区旱涝特征的时空分布进行相关分析,以期充分利用气候资源,合理调整农业生产布局,为农业领域应对气候变化的对策措施提供理论依据,做到趋利避害。

### 1 研究区概况

东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁地区,位于我国的东北部,也是我国纬度最高的地区。该区属温带湿润、半湿润大陆性季风气候,由于紧靠西伯利亚,深受寒冷干燥冬季风的影响。降水量时空分布不均匀,年际变率较大,是我国气象灾害频繁且严重的地区之一<sup>[4-6]</sup>。该区多年平均气温为 5.3℃,平均降雨量为 610.8 mm。其境内东北西三面为低山、中山环绕,中部为广阔的东北大平原。

### 2 资料来源与方法

根据气象资料的完整度,选取东北地区 50 个气象站点 1956—2012 年的逐月平均气温、降水量,资料来源于中国气象科学数据共享服务网、辽宁气象局、黑龙江气象局。对照吴绍洪等<sup>[7]</sup>的干湿划分结果,将东北地区划分为湿润、半湿润、半干旱 3 个气候区,分别对应图 1 中的 I, II, III(图 1)。主要应用 Z 指数<sup>[8-11]</sup>、样条函数插值法<sup>[12]</sup>、Mann—Kendall 突变检验法<sup>[13]</sup>、气候倾向率及其它数理统计方法进行分析。



图 1 研究区域和气候分区图

由于某一时段的降水量一般不服从正态分布,而是服从 Person III 型分布,Z 指数能够消除降水量平均值不同的影响,对降水量进行处理而得到服从标准正态分布的序列,对旱涝程度具有良好的反应能力<sup>[14]</sup>。

现假设该地区降水量服从 Person III 型分布,对降水量 R 进行正态化处理,可将概率度函数 Person III 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布。其转换公式为:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left( \frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (1)$$

式中: C<sub>s</sub>——偏态系数; φ<sub>i</sub>——标准变量,均可由降水资料序列计算求得,计算公式为:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^3}{n\sigma^3} \quad (2)$$

$$\varphi_i = \frac{R_i - \bar{R}}{\sigma} \quad (3)$$

式中:  $\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$ ——降水系列的累年平均值; σ =

$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$ ——即降水系列的标准差; R<sub>i</sub>——各年平均降水量。

通过对东北地区 50 个气象站点 1956—2012 年 Z 指数进行计算,根据表 1 确定东北地区各地的旱涝等级。发现每级的理论频率和实际频率均较为接近,表明该 Z 指数等级划分标准能够反映实际情况,可以用于研究东北地区的旱涝气候变化特征。

表 1 Z 指数旱涝等级标准及东北地区 1956—2012 年旱涝实际出现频率

| 旱涝等级 | 类型 | Z 指数值范围                 | 理论频率/% | 实际频率/% |
|------|----|-------------------------|--------|--------|
| 1    | 重涝 | 1.645 0 ≥ Z             | 5      | 5.36   |
| 2    | 大涝 | 1.036 7 ≤ Z < 1.645 0   | 10     | 8.93   |
| 3    | 偏涝 | 0.524 4 < Z < 1.036 7   | 15     | 14.29  |
| 4    | 正常 | -0.524 4 ≤ Z ≤ 0.524 4  | 40     | 41.07  |
| 5    | 偏旱 | -1.036 7 < Z < -0.524 4 | 15     | 16.07  |
| 6    | 大旱 | -1.645 0 < Z ≤ -1.036 7 | 10     | 10.71  |
| 7    | 重旱 | Z ≤ -1.645 0            | 5      | 5.36   |

### 3 结果与分析

#### 3.1 东北地区全区气温、降水年际变化

近 57 a 东北地区年平均气温呈整体震荡上升趋势(图 2),多年平均气温为 5.4℃,气温倾向率为 0.30℃/10 a(通过了 α=0.001 的极显著性水平),略低于东北地区气候倾向率 0.32℃/10 a,明显高于近 50 a 全国增温速率 0.25℃/10 a 的平均水平<sup>[15]</sup>,气候变暖现象显著。由 5 a 滑动平均可以看出,20 世纪 50 年代末期到 60 年代初年均气温呈上升趋势,60 年代初到 70 年代初略微下降,之后到 21 世纪初持续上

升,2006 年后气温有所回落。2007 年该区气温年均值达到 7.0℃,为 57 a 来的最高值。该区年均降水量为 614 mm,降水倾向率为-8 mm/10 a。由 5 a 滑动平均可以看出,21 世纪 50 年代中期到 70 年代初

降水呈下降趋势,之后到 80 年代末期降水略微增加,80 年代末期至 2005 年持续下降,2005 年至今降水有所增加。2012 年降水量达到 772 mm,为 57 a 来的最大值。

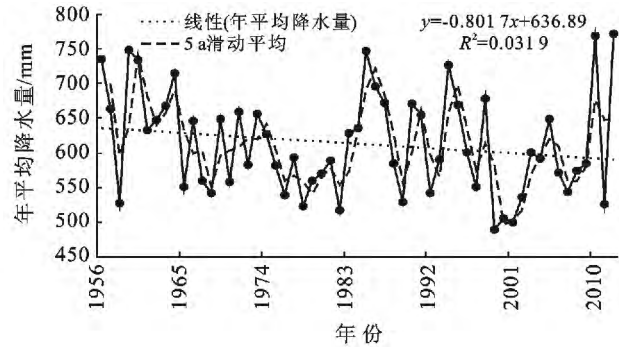
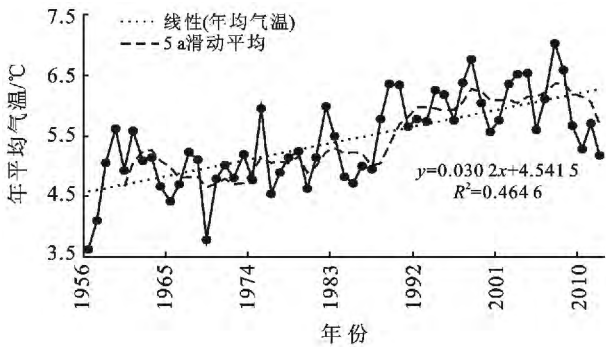


图 2 东北地区 1956—2012 年气温、降水量年际变化

3.2 东北地区各气候区气温、降水背景值统计

对东北地区各气候区气温进行线性拟合(表 2),结果显示各区气温呈上升趋势,线性增温明显,但增温幅度略有不同。半湿润区增温幅度最大,达 0.34℃/10 a,半干旱区增温幅度略小于半湿润区,湿润区气温上升速率相对较低,为 0.25℃/10 a。与半干旱、湿润气候区相比,半湿润区气温标准差最大,说明该气候区气

温较为离散,变化幅度较大。通过 M-K 突变检验得知各气候区气温突变年份集中于 20 世纪 80 年代中后期,东北地区全区突变年份为 1985 年,与湿润区突变年份较为一致。也与上述 6 阶拟合曲线转折点一致。各区降水也都有一定的减少趋势,其中半湿润区减少趋势最为明显,为-8.82 mm/10 a,全区降水以 8.02 mm/10 a 的速率在减少,干旱化较为明显。

表 2 东北地区气温、降水背景值统计

| 区域   | 气温背景值                         |      |      | 降水背景值                          |                          |
|------|-------------------------------|------|------|--------------------------------|--------------------------|
|      | 增温率/[℃·(10 a) <sup>-1</sup> ] | 突变年份 | 标准差  | 变化率/[mm·(10 a) <sup>-1</sup> ] | 突变年份                     |
| 全区   | 0.30                          | 1985 | 0.73 | -8.02                          | —                        |
| 半干旱区 | 0.32                          | 1987 | 0.79 | -7.01                          | 1957,1961,1985,1988,1991 |
| 半湿润区 | 0.34                          | 1986 | 0.81 | -8.82                          | 1958,1961,1983,1989,1992 |
| 湿润区  | 0.25                          | 1984 | 0.64 | -8.01                          | 1957,1966                |

3.3 东北地区及各气候区旱涝特征对气候变化的响应

对东北地区全区及各气候区重旱、大旱,重涝、大涝频次进行了统计(表 3)。由表 3 可知,1956—2012 年整个东北地区大旱、重旱发生 11 次,重涝、大涝发生 8 次,旱的频次大于涝的频次。大涝、重涝发生于 20 世纪 60 年代,进入 21 世纪,该区重旱频次增加,有干旱化的趋势,重涝也有所增加,气候变暖使该地区旱、涝

次数增加;湿润区大旱、重旱发生 7 次,大涝、重涝发生 9 次,涝的频次大于旱的频次;半湿润区大旱、重旱发生 9 次,大涝、重涝发生 9 次,旱涝发生频次相等;半干旱区大旱、重旱发生 9 次,大涝、重涝发生 10 次,旱涝发生频次基本相等。各区雨涝事件均以 60 年代居多,进入 21 世纪,干旱事件增多,这与该区的实际情况基本一致。

表 3 东北地区各气候区大旱、大涝发生频次统计

| 时段        | 次   |     |     |     |      |     |      |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|
|           | 全区  |     | 湿润区 |     | 半湿润区 |     | 半干旱区 |     |
|           | 大旱  | 大涝  | 大旱  | 大涝  | 大旱   | 大涝  | 大旱   | 大涝  |
| 1956—1965 | 1   | 2/2 | 0   | 2/2 | 1    | 3/1 | 1    | 4   |
| 1966—1975 | 2   | 0   | 1   | 0   | 0    | 0   | 2    | 1   |
| 1976—1985 | 4   | 0   | 1   | 0/1 | 2    | 0/1 | 0/1  | 0   |
| 1986—1995 | 0   | 1/1 | 1   | 2   | 1    | 2   | 0    | 3   |
| 1996—2005 | 1/1 | 0   | 2/2 | 0   | 2/2  | 0   | 1/2  | 0/1 |
| 2005—2012 | 1/1 | 1/1 | 0   | 1/1 | 1    | 2   | 2    | 0/1 |

注:为了便于统计,将重旱归类为大旱,将重涝归类为大涝,表中“/”左边为大旱、大涝频次,右边为重旱、重涝频次。

大涝的频率(次/10 a)表现为:湿润区<半干旱区<半湿润区,大旱的频率(次/10 a)表现为:湿润区<半湿润区<半干旱区,湿润区发生大涝大旱频率较低,半湿润区发生涝的频率大,半干旱区发生旱的频率大。1956—2012年东北地区及各气候区旱涝指数变化表明,全区与半干旱区Z指数变化一致,呈现出“涝—旱—涝—旱”的特征,6阶拟合线表明1956—1970年Z指数呈下降趋势,之后上升至1990年,1990—2005年为下降阶段,2006年回升。湿润区Z指数变化趋势不大,正常年份居多,半湿润区也经历了“涝—旱—涝—旱”4个阶段,6阶多项式函数拟合结果表明,湿润区与半湿润区Z指数变化趋势一致,均表现为1956—1960年上升,1960年—1970年下降,1970—1987年上升,1988年—2006年下降,2006年以来回升。

### 3.4 东北地区旱涝空间特征

由500,600,900 mm等降雨量线的移动进一步可以看出,东北地区的整体降雨量线在气温突变后在

向东向北扩,500 mm等降雨量线向东移动,600,900 mm等降雨量线向东北方向扩张,等降雨量线向东北方向移动说明了该区降雨量整体呈现减少趋势。利用样条函数插值法,分别对1956—2012年东北地区50个气象站点大旱(重旱)、大涝(重涝)频率进行插值分析,结果如图3所示。

由图3可以看出,大旱发生频率为0.87~1.93次/10 a,大涝为1.05~2.11次/10 a。其中50.9%的气象站点涝的频率高于旱的频率,8个站点洪涝发生频率高于1.93次/10 a;33.1%的气象站点旱高于涝,5个站点干旱发生频率高于1.93次/10 a;16%的气象站点旱涝频率基本相当。总体而言,东北地区更易发生洪涝,由于该区有春汛和夏汛两个汛期,增加了涝的频率。从大涝频次图可以看出,大涝频率高值中心分布于小兴安岭北部和三江平原、嫩江流域北部、辽河流域、长白山地区;大旱频率高值中心集中分布于东北地区西部,松嫩平原西部、科尔沁沙地、小兴安西北部、吉林西部地区。

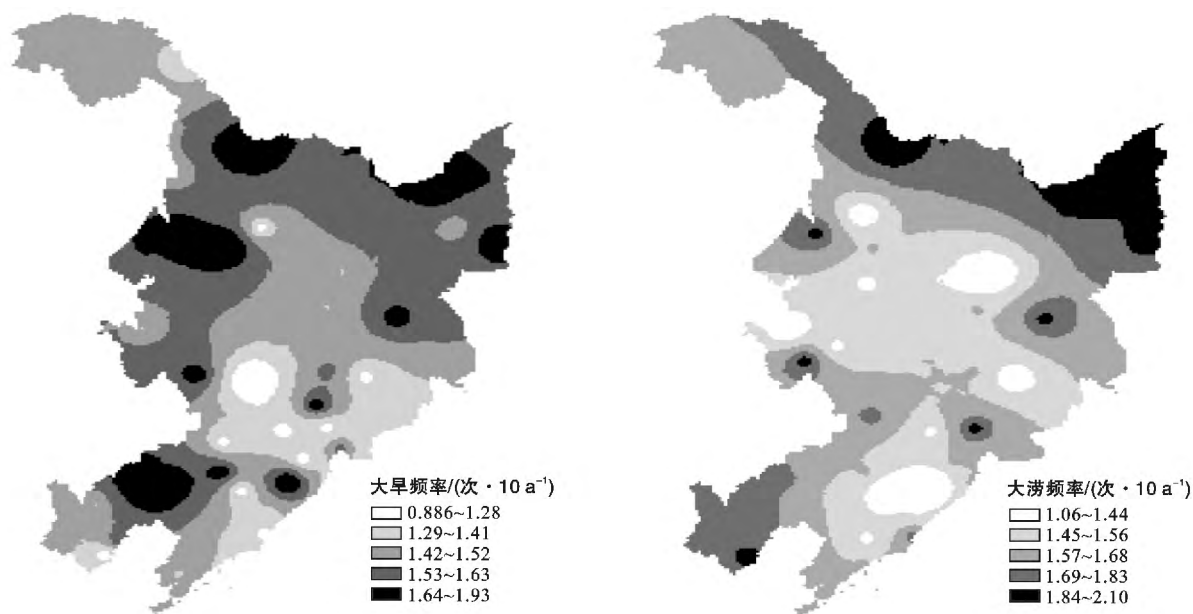


图3 东北地区旱涝频率空间分布

## 4 结论与讨论

(1) 近57 a东北地区年平均气温呈整体震荡上升趋势,气候倾向率为 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ;年均降水量为614 mm,气候倾向率为 $-8\text{ mm}/10\text{ a}$ ,整体呈现暖干化的趋势,2006年以来,暖干化的趋势有所缓解。

(2) 半湿润区增温幅度最大,达 $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,湿润区气温上升速率相对较低,为 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,半湿润区降水减少趋势最为明显,为 $-8.82\text{ mm}/10\text{ a}$ 。东

北地区全区气温突变年份为1985年,降水突变年份不明显。

(3) 1956—2012年全区及各气候区旱涝指数变化表明,全区、半干旱区、半湿润区Z指数变化一致,呈现出“涝—旱—涝—旱”的演变特征,湿润区Z指数变化趋势不大,正常年份居多;大涝(重涝)的频率(次/10 a)表现为:湿润区<半干旱区<半湿润区,大旱(重旱)的频率(次/10 a)表现为:湿润区<半湿润区<半干旱区,湿润区发生大涝大旱频率较低,半湿润区发生

涝的频率大,半干旱区发生旱的频率大。

(4) 东北地区的整体降雨量线在气温突变后在向东向北扩张,更易发生洪涝。大涝频率高值中心分布于小兴安岭北部和三江平原、嫩江流域北部、辽河流域、长白山地区;大旱频率高值中心集中分布于东北地区西部,松嫩平原西部、科尔沁沙地、小兴安岭西北部、吉林西部地区。

(5) 谢立勇<sup>[16]</sup>认为,以温度增高为主特征的气候变化,正在给全球及区域层面上经济社会发展带来更加复杂的影响;孙凤华<sup>[17]</sup>认为东北地区的百年增温幅度要远远大于全球和中国平均水平,温度增高会伴随引发一系列气象灾害,其中以旱涝最为严重;王江山<sup>[18]</sup>认为伴随着气候显著变暖,东北地区一些气象要素和极端气候事件也在发生相应变化,如暖干化趋势明显,干旱事件频发,气候带北移,积温显著增加。文中用 Z 指数进一步对东北地区及各气候分区旱涝特征进行了分析,继续探讨在全球气温变暖的背景下局域的气候变化特征。局地的气候变化除了诸如太阳活动、火山爆发等大背景因子影响外,还受到局地多种因素的影响。研究表明,人类活动可能起了较为重要的作用。实际上影响气候变化的原因很多也很复杂,因此对东北地区旱涝特征还有待于进一步深入研究。本研究从年尺度分析了其旱涝特征,该区属于北温带大陆性季风气候,其降雨量集中在夏秋两季,也有待于从季尺度进行进一步深入分析。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 章国材. 防御和减轻气象灾害:2006 年世界气象日主题[J]. 气象,2006,32(3):3-5.
- [2] 马建勇,许吟隆,潘婕. 东北地区农业气象灾害的趋势变化及其对粮食产量的影响[J]. 中国农业气象,2012,33(2):283-288.
- [3] 赵先丽,李丽光,贾庆宇. 1988—2007 年辽宁主要农业气象灾害分析[J]. 气象与环境学报,2009,25(2):33-37.
- [4] 孙凤华,吴志坚,杨素英. 东北地区近 50 年来极端降水和干燥事件时空演变特征[J]. 生态学杂志,2006,25(7):779-784.
- [5] 孙凤华. 东北气候变化与极端气象事件[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [6] 赵秀兰. 近 50 年中国东北地区气候变化对农业的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(9):144-149.
- [7] 吴绍洪,尹云鹤,郑度. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J]. 中国科学(D 辑):地球科学,2005,35(3):276-283.
- [8] 陈莉. Z 指数在旱涝形势分析中的应用[J]. 黑龙江气象,1998,2(2):8-9.
- [9] 韩继伟,孔凡哲,赵磊,等. 两种气象干旱指标的应用比较研究[J]. 中国农村水利水电,2012,7(1):85-88.
- [10] 江和文,郭婷婷,包颖,等. 辽宁省近 50 a 旱涝灾害的时空特征分析[J]. 水土保持研究,2012,19(2):29-33.
- [11] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [12] 曹文静,李强子,蒙继华. 基于 GIS 的气温插值方法比较[J]. 中国农业气象,2007,28(S):175-178.
- [13] 刘贤赵,张安定,李嘉竹. 地理学数学方法[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [14] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报,1997,8(1):26-33.
- [15] 苏伟. 气候变化对中国的影响评估及其适应对策:海平面上升和冰川融化领域[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [16] 谢立勇,郭明顺. 东北地区农业应对气候变化的策略与措施分析[J]. 气候变化研究进展,2009,5(3):175-178.
- [17] 孙凤华,袁健. 东北地区近 100 年气候变化及突变检测[J]. 气候变化研究进展,2006,11(1):101-108.
- [18] 王江山,孙凤华. 气化变暖对东北地区农业生产的影响[J]. 安徽农业科学,2010,37(19):9053-9056.