

# 工厂化水稻旱地育秧灌水量及气象影响因子分析

李康勇, 徐义军, 陈向, 张勇, 刘燕妮

湖南省水利水电科学研究院, 湖南 长沙

收稿日期: 2025年4月12日; 录用日期: 2025年5月14日; 发布日期: 2025年5月22日

## 摘要

为探究工厂化水稻旱地育秧的灌水特征及主要气象影响因子, 通过开展早、中、晚稻工厂化育秧灌溉试验, 对气象因子进行相关分析和主成分分析。结果表明, 早、中、晚稻育秧灌水量不断增大, 分别是 $11.3 \text{ m}^3/\text{亩}$ 、 $16.8 \text{ m}^3/\text{亩}$ 和 $51.6 \text{ m}^3/\text{亩}$ ; 灌水量与最高气温、最低气温、平均气温、日照时数、风速、蒸发、平均风速呈极显著正相关, 与平均相对湿度、降雨呈极显著负相关; 灌水量的主要影响因素依次为平均气温、最高气温、最低气温、蒸发、平均相对湿度、日照时数、降水、平均风速, 但平均气温与最高气温、最低气温、蒸发、平均相对湿度、日照时数存在较强的共线性, 通过建立生育期灌水量与平均温度的线性回归方程, 得出经验系数a和b分别为0.2366和-4.469, R方为0.8836, 说明各生育期灌水量与平均气温存在强正线性关系, 平均气温能够较好地反映各生育期的灌水量, 为估算灌溉水量提供了参考工具。

## 关键词

工厂化旱地育秧, 灌水量, 气象因子, 相关分析, 主成分分析

# Analysis of Irrigation Water Volume and Meteorological Influencing Factors for Industrialized Rice Dryland Seedling-Raising

Kangyong Li, Yijun Xu, Xiang Chen, Yong Zhang, Yanni Liu

Hunan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Changsha Hunan

Received: Apr. 12<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 14<sup>th</sup>, 2025; published: May 22<sup>nd</sup>, 2025

## Abstract

In order to explore the irrigation characteristics of industrialized rice dryland seedling-raising and its main meteorological influencing factors, correlation analysis and principal component analysis

文章引用: 李康勇, 徐义军, 陈向, 张勇, 刘燕妮. 工厂化水稻旱地育秧灌水量及气象影响因子分析[J]. 农业科学, 2025, 15(5): 590-596. DOI: 10.12677/hjas.2025.155072

of meteorological factors were carried out through irrigation experiments on early-season, middle-season and late-season rice in industrialized seedling-raising. The results showed that the irrigation water volume for early-season, middle-season and late-season rice seedling-raising increased successively, reaching  $11.3 \text{ m}^3/\text{mu}$ ,  $16.8 \text{ m}^3/\text{mu}$  and  $51.6 \text{ m}^3/\text{mu}$ , respectively. The irrigation water volume was extremely significantly positively correlated with the maximum temperature, minimum temperature, average temperature, sunshine hours, wind speed, evaporation and average wind speed, and extremely significantly negatively correlated with the average relative humidity and rainfall. The main influencing factors of the irrigation water volume were, in order, the average temperature, maximum temperature, minimum temperature, evaporation, average relative humidity, sunshine hours, precipitation and average wind speed. However, there was a strong collinearity between the average temperature and the maximum temperature, minimum temperature, evaporation, average relative humidity and sunshine hours. By establishing a linear regression equation between the irrigation water volume during the growth period and the average temperature, the empirical coefficients  $a$  and  $b$  were obtained as 0.2366 and  $-4.469$ , respectively, with an R-squared value of 0.8836. This indicates that there is a strong positive linear relationship between the irrigation water volume in each growth period and the average temperature. The average temperature can better reflect the irrigation water volume in each growth period, providing a reference tool for estimating irrigation water volume.

## Keywords

Industrialized Dryland Seedling-Raising, Irrigation Water Volume, Meteorological Factors, Related Analysis, Principal Component Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水稻是中国的主要粮食作物，水稻产量约占全球总产量的 30%，居世界第一。水稻是湖南最主要的粮食作物，2022 年湖南省水稻种植面积和产量分别位居全国第一和第二，分别为 3967.7 千公顷和 2639.9 万吨[1]。与直播相比，水稻育秧种植模式可提高水稻产量、质量及抗病抗虫害能力，并有利于省种，因此水稻育秧种植是我国目前水稻种植的主要方式。与传统水田育秧相比，工厂化旱育秧因具有流水线操作机械化程度高、育秧周期短、秧苗质量好、抗逆力强、有利于机插、节水等优点被广泛应用[2]-[6]。工厂化旱育秧受种子、种植密度、育秧基质、水肥管理、机械控制条件及气候环境等多因素的影响[7]-[9]。近年来，工厂化育秧基质成分、自动化控制及装置、节水灌溉技术等一直是学者们研究的热点，相关研究成果为推动水稻工厂化育秧技术的发展和应作出了重要的贡献。张均华等[10]的研究提出，轻型无土基质育秧较营养土水稻产量提高；凌宇飞等[11]的研究指出，秸秆基质块规格为  $57.5 \text{ cm} \times 27.5 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$  时的种子播量为 150 g 时出芽率最高。王纪忠等[12]的研究提出，水分胁迫会显著抑制秧苗的生长，有机质育秧基质较营养土可以降低水分胁迫对出苗的影响。灌水是影响秧苗质量的重要因素，旱地育秧对雨水利用相对较低，使得中晚稻育秧灌水量明显增多，气象因素是影响水稻育秧期灌水量的重要因素，但目前针对工厂化育秧耗水规律及其影响气象因子研究的内容较少[13]-[15]。分析工厂化育秧灌水量、主要气象影响因子有助于探究工厂化育秧模式下秧苗耗水规律及制定合理的节水灌溉制度，对促进育秧节水和水资源可持续利用具有重要意义。

因此，本研究主要通过工厂化旱地育秧现场试验，分析气温、相对湿度、日照时数、风速、蒸发等不

同气象因子对秧苗各生育期灌水量的影响,以探明影响育秧灌水量的主要气象因子,通过建立灌水量与主要气象因子的线性关系,为水稻工厂化旱地育秧灌水量计算提供参考依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验区概况

本次试验在岳阳县筻口镇的丰瑞农机专业合作育秧基地内进行,地处东经 113°17',北纬 29°11',属亚热带大陆季风湿润气候,夏季高温多雨,年平均气温 17℃,年平均降水量约 1200 mm,降水集中在 4 至 6 月。

### 2.2. 试验材料

试验所用育秧盘为硬质塑料盘,长宽高分别为 58 cm、28 cm、3 cm,底部设有透气排水孔;所用土壤为自然风干过 0.5 cm × 0.5 cm 筛的壤土,育秧基质为壤土与谷壳的混合物堆积自然发酵而成。育秧盘底部填充物 2 cm 厚的基质,中间均匀置放种子,再覆盖约 1 cm 厚壤土。育秧盘土壤初始质量田间含水率约为 28%。所用水稻种子品种为济优 1127,每盘用量约 120 g。

### 2.3. 试验方案

于 2023 年开展早、中、晚稻水稻育秧试验,其中早、中、晚稻育秧时间分别为 4 月 9 日至 4 月 30 日、5 月 29 日至 6 月 16 日、7 月 20 日至 8 月 3 日。灌水方式为喷灌,采样称重方式测算灌水量,以 9 个育秧盘灌水前后质量差的平均值作为每次灌水量。收集育秧期间气温、相对湿度、日照时数、风速、蒸发等日气象数据,采样 SPSS 27.0 进行数据处理与统计,分析气象因子对洞庭湖区工厂化育秧需灌水量的影响。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 相关性分析

对早中晚稻育秧期间日灌水量及气象因子进行 Pearson 检验,结果如表 1 所示。从表中可以看出,各气象因子间存在不同程度的相关性,其中平均气温与最高、最低气温、日照时数、平均风速、蒸发呈极显著正相关,与降水、平均相对湿度呈极显著负相关,平均气温与最高、最低气温相关系数最大,分别为 0.973 和 0.984,其次平均气温与相对湿度、蒸发相关系数绝对值大于 0.8,说明平均气温与最高气温、最低气温、相对湿度、蒸发、日照时数气象因子存在共线性。平均相对湿度与气温、日照时数、平均风速呈极显著负相关,相关系数范围为-0.5 至-0.81;蒸发与气温、日照时数、平均风速呈极显著正相关,相关系数范围为 0.7 至 0.84,蒸发与平均相对湿度呈极显著负相关,相关系数为-0.88。降雨与蒸发、平均气温、最高气温、日照时数呈显著负相关。

灌水量与气温、日照时数、平均风速、蒸发呈极显著正相关,相关系数大小依次为平均气温 0.78,其次为最高气温 0.769、最低气温 0.767 和蒸发 0.74;灌水量与平均相对湿度、降水呈极显著负相关,相关系数分别为-0.78 和-0.36。说明灌水量随气温、风速、日照时数的升高而增大,这是因为气温升高会增加水分蒸发量,同时也会加快秧苗生长代谢,对水分的需求相应增大,从而增大育秧耗水量,导致灌水量增加;风速增大会加速育秧田表面的空气流动,增加水分蒸发,导致耗水量增加;日照是光合作用的必要条件,日照时数增加会增强秧苗的光合作用,同时也会加剧叶片表面的蒸腾作用,导致耗水量上升。空气湿度越低,育秧过程中水分蒸发越快,耗水量就越大。平均相对湿度、降水增大会降低灌水量,降雨会补给作物所需水分,而相对湿度增大时,大气蒸汽压增大,叶内外蒸汽压差减小,使得蒸腾作用减弱,耗水量会减少。

**Table 1.** Correlation analysis between irrigation water volume and meteorological factors**表 1.** 灌水量与气象因子相关性分析

因素	灌水量	平均气温	最高气温	最低气温	日降水量	日照时数	平均风速	平均相对湿度	蒸发
灌水量	1								
平均气温	0.782**	1							
最高气温	0.769**	0.973**	1						
最低气温	0.767**	0.984**	0.930**	1					
日降水量	-0.358**	-0.352**	-0.388**	-0.288*	1				
日照时数	0.605**	0.749**	0.798**	0.678**	-0.552**	1			
平均风速	0.414**	0.497**	0.480**	0.517**	0.09	0.276*	1		
平均相对湿度	-0.780**	-0.810**	-0.805**	-0.789**	0.365**	-0.737**	-0.503**	1	
蒸发	0.740**	0.839**	0.825**	0.842**	-0.287*	0.696**	0.700**	-0.881**	1

注：\*和\*\*分别表示在  $P < 0.05$  水平显著相关和  $P < 0.01$  水平极显著相关。

### 3.2. 主要影响因素排序

早中晚稻育苗秧期间逐日气象因素 KMO 检验和 Bartlett 球形检验结果如表 2 所示，可知 KMO 值为 0.774，显著性  $P$  值  $< 0.01$ ，表明各变量间存在相关性，适合进行主成分分析。

**Table 2.** KMO test and Bartlett sphericity test**表 2.** KMO 检验和 Bartlett 球形检验

	KMO 值	0.774
	近似卡方	657.91
Bartlett 球形度检验	自由度	28
	显著性	$< 0.001$

各主成分的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率如表 3 所示。特征值大于 1 的主成分为第一主成分和第二主成分，且 2 个主成分的累计方差贡献率达到 85.504%，表明这 2 个主成分能够充分解释所有气象因素对灌水量的影响，得出主成分因子载荷矩阵如表 4 所示。

**Table 3.** Eigenvalues, variance contribution rate, and cumulative variance contribution rate of principal components**表 3.** 主成分的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	5.614	70.177	70.177
2	1.226	15.327	85.504
3	0.498	6.222	91.726
4	0.302	3.776	95.503
5	0.233	2.908	98.411
6	0.079	0.981	99.393
7	0.045	0.566	99.959
8	0.003	0.041	100.000

由表 4 可知, 气温、蒸发、相对湿度、日照时数是第一主成分的主要因子; 降雨和平均风速为第二主成分中的关键因子。

Table 4. Principal component factor load matrix

表 4. 主成分因子载荷矩阵

因子	日照时数	最高气温	最低气温	平均气温	日降水量	平均风速	平均相对湿度	蒸发
主成分 1	0.83	0.956	0.937	0.96	-0.429	0.589	-0.904	0.93
主成分 2	-0.349	-0.042	0.087	0.012	0.792	0.655	-0.008	0.198

### 3.3. 灌水量分析

早、中、晚稻秧苗各生育期灌水量及气象因子特征值统计如表 5 所示, 早、中、晚稻育秧灌水量分别为 2.76 kg、4.08 kg、12.57 kg, 分别为 11.3 m<sup>3</sup>/亩、16.8 m<sup>3</sup>/亩和 51.6 m<sup>3</sup>/亩。早稻旱地育秧灌水量相对较少, 这主要是因为早稻育秧初期气温较低, 水分蒸发量小, 且秧苗生长缓慢, 对水分的需求不高。随着生长进程的推进, 需水量逐渐增加, 但总体仍处于较低水平。中稻育秧灌水量上升, 此时气温升高, 光照增强, 秧苗生长速度加快, 对水分的吸收与蒸腾作用加剧, 因此需要更多的灌溉来满足其生长需求。晚稻育秧灌水量大幅增加, 晚稻育秧期正值高温季节, 水分蒸发迅速, 且晚稻生长周期相对较短, 秧苗生长更为旺盛, 对水分的需求达到高峰。

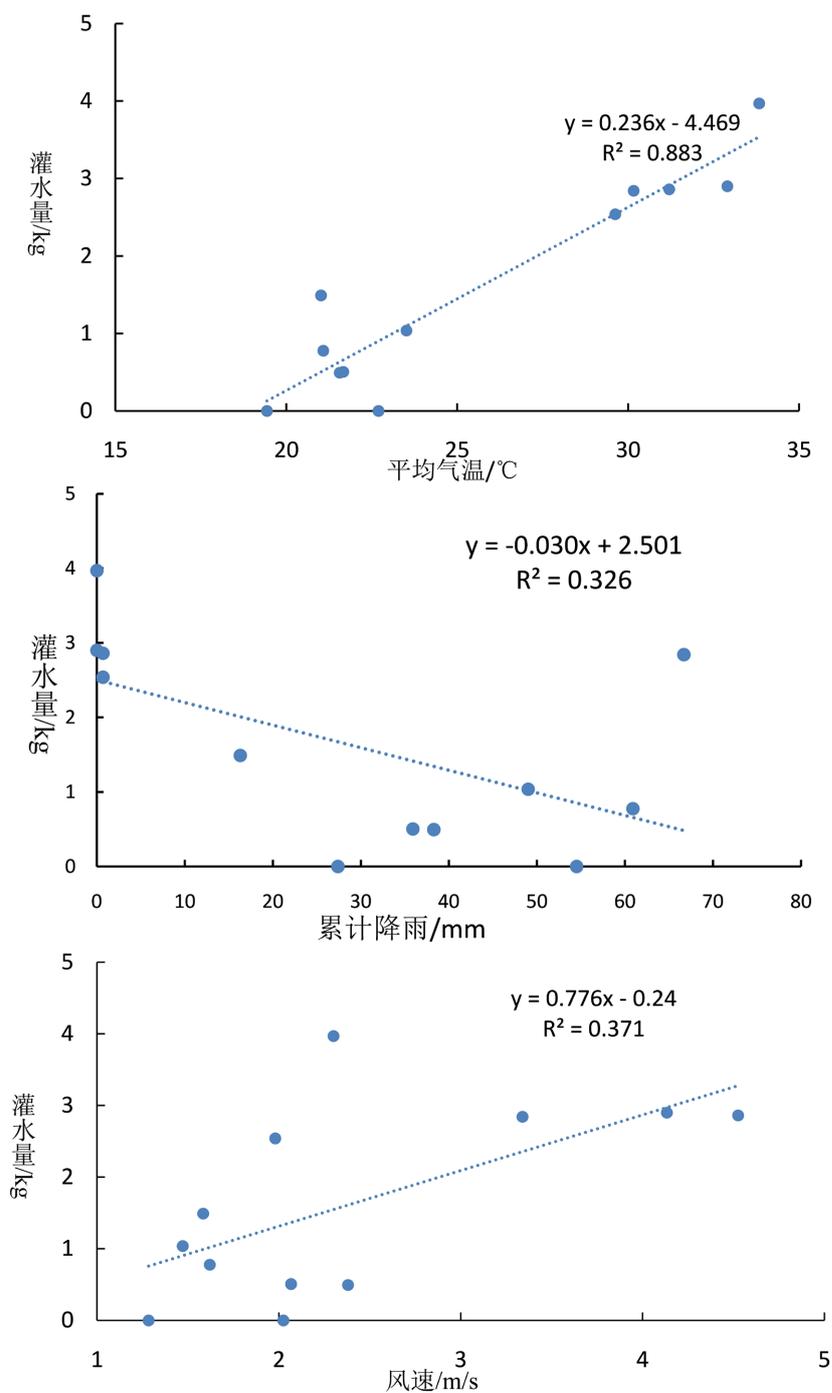
综合考虑主成分分析及平均气温与最高气温、最低气温、蒸发、日照强度间的共线性, 本次只分析平均气温、风速及降水对灌水量的影响。早、中、晚稻育秧各生育期平均气温、平均风速呈增大趋势, 对比分析同生育期下平均气温对育秧灌水量的影响, 如图 1 所示。从图 1 中可以看出, 不同生育期灌水量与平均气温变化趋势相同, 整体上随着平均气温的升高灌水量增大。如立针期, 较早稻相比, 中、晚稻平均气温分别增加 2.2℃和 13.5℃, 灌水量分别增加 0.51 kg 和 2.9 kg; 一叶一心期、两叶一心期晚稻平均气温较早稻分别增加 12.7℃和 9.1℃, 灌水量分别增加 3.19 kg 和 1.35 kg; 中稻一叶一心期、两叶一心期晚稻平均气温较早稻分别增加 1.62℃和 2.5℃, 灌水量分别减少 0.78 kg 和 0.45 kg, 这是因为中稻在一叶一心期、两叶一心期有效降雨量显著多于早稻; 三叶一心期, 中、晚稻平均气温分别增加 8.1℃和 9.6℃, 灌水量分别增加 2.04 kg 和 2.37 kg。

Table 5. Statistical table of characteristic values for early, middle, and late rice seedling-raising

表 5. 早、中、晚稻育秧各特征值统计表

分类	生育期	起止日期	灌水量 kg	平均气温℃	累计降水量 mm	平均风速 m/s
早稻	立针期	4.9~4.14	0	19.4	54.5	1.3
	一叶一心	4.15~4.19	0.78	21.1	60.9	1.6
	两叶一心	4.20~4.25	1.49	21.0	16.3	1.6
	三叶一心	4.26~4.30	0.49	21.6	38.3	2.4
中稻	立针期	5.29~5.31	0.51	21.7	35.9	2.1
	一叶一心	6.1~6.4	0	22.7	27.4	2.0
	两叶一心	6.5~6.11	1.04	23.5	49.0	1.5
	三叶一心	6.12~6.16	2.54	29.6	0.7	2.0
晚稻	立针期	7.20~7.22	2.90	32.9	0.0	4.1
	一叶一心	7.23~7.25	3.97	33.8	0.0	2.3
	两叶一心	7.26~7.30	2.84	30.2	66.7	3.3
	三叶一心	7.31~8.3	2.86	31.2	0.7	4.5

分别建立各生育期灌水量与平均温度、降雨、风速的线性回归方程  $I = a \times X + b$ ，如图 1 所示，各生育期灌水量与平均气温拟合经验系数  $a$  和  $b$  分别为 0.2366 和 -4.469， $R^2$  为 0.8836，说明各生育期灌水量与平均气温存在强正相关关系，各生育期灌水量随平均气温的升高而增大；各生育期灌水量与累计降雨量、平均风速拟合的  $R^2$  为 0.32 和 0.37，说明各生育期灌水量与风速和累计降雨量与各生育期灌水量线性关系不明显。



**Figure 1.** Fitting diagrams of average temperature, rainfall, wind speed, and irrigation water volume for each growth period  
**图 1.** 各生育期平均气温、降雨、风速与灌水量拟合图

## 4. 结论

本研究通过工厂化水稻旱地育秧灌溉试验、气象因素相关分析及主成分分析,得出早、中、晚稻秧苗各生育期灌水量特性,找出了影响灌水量的主要因素,并建立各生育期灌水量与平均气温的线性方程,主要结论如下:

1) 早、中、晚稻工厂化旱地育秧灌水量呈上升趋势,2024年灌水量分别为 $11.3\text{ m}^3/\text{亩}$ 、 $16.8\text{ m}^3/\text{亩}$ 和 $51.6\text{ m}^3/\text{亩}$ 。灌水量与最高气温、最低气温、平均气温、日照时数、风速、蒸发、平均风速、平均相对湿度呈极显著正相关,与平均相对湿度、降水呈极显著负相关。

2) 灌水量的主要影响因素依次为平均气温、最高气温、最低气温、蒸发、平均相对湿度、日照时数、降水、平均风速,但平均气温与最高气温、最低气温、蒸发、平均相对湿度、日照时数存在较强的共线性。

3) 育秧各生育期灌水量与平均气温呈强线性关系,与累计降雨和平均风速相关性弱,说明平均气温能够较好地反映各生育期灌水量;建立生育期灌水量与平均温度的线性回归方程 $I = a \times T_{\text{mean}} + b$ ,经验系数 $a$ 和 $b$ 分别为0.2366和-4.469, $R$ 方为0.8836,为估算工厂化旱地育秧灌水量提供理论参考。

## 基金项目

湖南水利科技项目(XSKJ2023059-17)。

## 参考文献

- [1] 常传义. 湖南省水稻插秧机现状及存在问题[J]. 农业机械(上半月), 2016(11): 132-136, 140.
- [2] 陈永华, 胡婷婷, 章银珊, 等. 不同基质对水稻秧苗素质的影响[J]. 现代农业科技, 2020(24): 1-3, 8.
- [3] 唐秋澄, 周瑞庆. 湖南省水稻节水栽培技术的研究与应用[J]. 作物研究, 1998(3): 38-40.
- [4] 孔令娟, 汪新国, 孙如银, 等. 水稻旱育秧不同方式的试验研究报告[J]. 中国农学通报, 2009, 25(15): 100-104.
- [5] 于林惠, 丁艳锋, 薛艳凤, 等. 水稻机插秧田间育秧秧苗素质影响因素研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 73-78.
- [6] 马旭, 王承恩, 刘赛赛, 等. 水稻育秧生产线秧盘播种量智能调控装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2023, 39(7): 36-46.
- [7] 支晓蓉. 播种摆盘机配套喷淋节水灌溉技术的试验分析[J]. 现代农机, 2019(3): 45-46.
- [8] 吕连庆, 单爱娟, 蒋祖明, 等. 机插水稻育秧“五替代技术”的优点及其应用[J]. 现代农业科技, 2020(11): 49.
- [9] 杨建昌, 王维, 王志琴, 等. 水稻旱秧大田期需水特性与节水灌溉指标研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 34-42.
- [10] 张均华, 林育炯, 黄洁, 等. 基质类型及烯效唑对不同秧龄晚稻机插质量和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 44-52.
- [11] 凌宇飞, 许方甫, 卫平洋, 等. 水稻秸秆基质块无盘育秧对秧苗素质与栽插质量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(1): 9-17.
- [12] 王纪忠, 周青, 张国良, 等. 不同基质育秧条件下水稻秧苗对水分胁迫的响应[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(5): 861-862.
- [13] 孟庆东. 水稻旱育秧及节水栽培技术浅析[J]. 种子科技, 2020, 38(7): 31-32.
- [14] 潘和平, 龚建媛, 欧锡和, 等. 水稻温室大棚加地下水灌溉育秧设施及其配套技术应用[J]. 南方农业, 2014(11): 16-17.
- [15] 黄义德, 朱小茜, 黄雅丽, 等. 安徽稻作灌溉和节水技术的研究与实践[J]. 安徽农学通报, 2005, 11(7): 2-3, 11.