

Effect of Different Distance, Offset and Rotation Angle on Read Rate of RFID

Qijian Wang^{1,2}, Longhai Lei³, Yu Zhao⁴, Weihua Wang², Qiliang Yang^{2*}

¹Lushan College of Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi

²Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan

³The Office of Water and Soil Conservation of Bijie City, Bijie Guizhou

⁴ Hunan Water Resources and Hydropower Research Institute, Changsha Hunan

Email: wangqijiananhui@126.com, *yangqilianglovena@163.com

Received: Jan. 20th, 2017; accepted: Feb. 3rd, 2017; published: Feb. 10th, 2017

Abstract

To study the effects of different distances, offset and rotation angle on the RFID read rates, the paper set the tag reading distance (M) 5 treatments (1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m), the offset angle (A) 5 treatments (0°, 15°, 30°, 45°, 60°) and the rotation angle (R) 4 treatments (0°, 90°, 180°, 270°). No-load plants and different potted plants were studied. The result show the effective tag reading range and the offset angle in the no-load condition: when the distance is 1 m, the valid range of the offset angle is 0° - 60° and the reading rate is more than 98.0%; when the distance is 2 to 5 m, the valid range of the offset angle is 0° - 45° and the reading rate is more than 97.4%. When the potted plants are poinsettias and Jatropha, the effective range of tag read distance, the offset angle and the rotation angle is: The farthest distance is 5 m; when the distance is 1 m, the offset angle range is 0° - 60°; when the distance is 2 m - 3 m, the offset angle range is 0° - 45°; when the distance is 4 m, the offset angle range is 0° - 15°; when the distance is 5 m, the offset angle range is 0°; when the distance is 0 - 3 m, the effective range of its rotational angle is 0° - 270°. In this reading range, RFID read rate reaches more than 93.06%. When the distance is 4 m and the offset angle is 0° - 15°, the valid range of its rotation angle is 0° - 90° and RFID reading rate reaches 82.7%. When measurement condition is same, Jatropha reading rate is higher than poinsettia.

Keywords

RFID, Read Rate, Distance, Offset Angle, Rotation Angle

不同距离、偏移和旋转角度对RFID读取率的影响

王亓剑^{1,2}, 雷龙海³, 赵余⁴, 王卫华², 杨启良^{2*}

*通讯作者。

¹广西科技大学鹿山学院, 广西 柳州

²昆明理工大学现代农业工程学院, 云南 昆明

³毕节市水土保持办公室, 贵州 毕节

⁴湖南省水利水电科学研究院, 湖南 长沙

Email: wangqijiananhu@126.com, *yangqilianglovena@163.com

收稿日期: 2017年1月20日; 录用日期: 2017年2月3日; 发布日期: 2017年2月10日

摘要

为研究不同距离、偏移和旋转角度对RFID读取率的影响, 本文设定标签读取距离(M)5个处理(1 m、2 m、3 m、4 m、5 m)、偏移角度(A)5个处理(0°、15°、30°、45°、60°)、旋转角度(R)4个处理(0°、90°、180°、270°), 针对空载和不同盆栽植物分别进行试验。结果表明: 空载条件时标签读取距离、偏移角度的有效范围: 当距离为1 m时, 偏移角度的有效范围为0°~60°, 读取率达到98.0%以上; 距离为2~5 m时, 偏移角度的有效范围为0°~45°, 读取率达到97.4%以上。当盆栽植物为一品红、小桐子时, 标签读取距离、偏移角度和旋转角度的有效范围: 距离最远5 m; 当距离为1 m时, 偏移角度范围为0°~60°; 距离为2 m~3 m时, 偏移角度范围为0°~45°; 距离为4 m时, 偏移角度范围为0°~15°; 距离为5 m时, 偏移角度范围为0°; 当距离为0~3 m时, 其旋转角度的有效范围均为0°~270°, 在此读取范围内其RFID的读取率均达到93.06%以上; 当距离为4 m, 偏移角度为0°~15°时, 其旋转角度的有效范围为0°~90°, 其RFID的读取率均达到82.7%。测定条件相同时, 小桐子的读取率高于一品红的读取率。

关键词

RFID, 读取率, 距离, 偏移角度, 旋转角度

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

无线射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)是一项利用射频信号进行空间耦合, 实现非接触信息传递的自动识别技术[1]。典型的 RFID 系统包括三部分: 标签、读写器和应用系统; 具有可快速扫描、体型小型化、可重复写入读取、实用、精准和安全等特点[2] [3] [4] [5]。因此, RFID 技术可以用于植物的单株标识, 而 RFID 读取率和读取范围是单株标识的关键。目前, 国内外对 RFID 读取率的研究主要方法: 一是基于 Friis 能量传输模型基础建立了一些复杂的读取操作范围模型, 二是读取率试验方法[6] [7]。国外 Hodges 等提出一种结合机械手自动化采集数据来优化 RFID 标签在应用对象上的安装位置的衰减阈值新方法, 可确定无源 UHF 型 RFID 系统的有效读取范围[8]。国内钱建平等人针对单株果树标识进行试验, 并获得 RFID 标签不同悬挂方式时对读取率的影响; 结果表明, 在 2.0 m 范围内读取效果较好, 在 3、3.5 m 时, 读取率显著下降, 读取率不到 50% [9]。而综合考虑不同距离、偏移和旋转角度对 RFID 读取率的影响研究还尚未见报道。因此本研究首先在空载条件下测定出能够读取时标签与 RFID 读写器之间的最大距离、偏移和旋转角度, 再通过盆栽一品红和小桐子进行试验, 测定出 RFID 系统的读取率和有效读取范围, 该研究将为今后 RFID 系统在农业中的应用提供技术参考。试验采用选盆栽一品红和

小桐子均为旺盛生长阶段；其中小桐子取自云南省元谋干热河谷地区，一品红极具观赏价值。小桐子和一品红均属于被子植物门、双子叶植物纲、大戟目，但两者之间的形态差异较大。具有研究价值。

2. 试验装置与方法

2.1. 试验目的

RFID 技术在农业中应用时，读取率为评价其应用效果的重要指标之一。影响其读取率的因素较多，包括试验对象、标签与 RFID 读写器之间的距离(M)、偏移角度(A)和标签的旋转位置(R)等。本文首先在空载条件下测定出标签与 RFID 读写器之间的最大距离、偏移和旋转角度，然后通过对盆栽一品红和小桐子进行试验，确定 RFID 的读取率与读取距离、偏移角度、标签的旋转位置之间的变化关系，最后获得试验对象影响下 RFID 的有效读取范围。

2.2. 试验装置

2014 年 11 月-2015 年 1 月本试验在昆明理工大学现代农业工程学院智能温室大棚中进行，所选盆栽一品红和小桐子均为旺盛生长阶段，一品红冠幅 50 cm，最高生长点到盆表面高度 78 cm；小桐子冠幅 24 cm，最高点到盆表面高度 56 cm。RFID 读写器为国产 UHFREADER18 型，该读写器采用 18000-6B、EPC 双协议行业标准，工作频率为 902~928 MHz，圆极化天线，采用光谱跳频发射方式进行工作，输出功率最大 30 dBm，典型读取距离 5 m，功耗低，采用交流供电，具有快速读写、一次识别多个标签、抗干扰能力强等特点。整个测试装置固定在简易平台上，读写器和笔记本电脑通过 RS232 接口进行连接。

2.3. 试验方法

基于 RFID 设备提供的 API 控制函数，通过 C#语言开发一套上位机控制软件。该软件包括：通信端口、读写 EPC 码、用户操作界面、读取间隔等。

利用上位机控制软件，通过设定读取时间周期 $T = 100 \text{ ms}$ ，每个实验条件测试 1 min，理论读取次数为 600 次/min，测出成功读取次数 n ，读取率 p 为成功读取次数 n 与 600 之间的比值，即：

$$P = (n \div 600) \times 100\%。$$

RFID 技术在实际应用时，标签与 RFID 读写器之间的距离(M)、偏移角度(A)和标签的旋转位置(R)均对 RFID 读取率 p 有影响。为确定距离(M)、偏移角度(A)和旋转位置(R)的有效范围，设定距离(M)5 个处理：1 m、2 m、3 m、4 m、5 m，偏移角度(A)5 处理个：0°、15°、30°、45°、60°，旋转角度(R)4 个处理：0°、90°、180°、270°。其中距离(M)和偏移角度(A)的布设为：以 RFID 读写器中央位置为原点，与读写器垂直的位置为纵轴，水平的位置为横轴；以横轴为基准，偏移量为 15°画射线；以原点为圆心分别画半径为 1 m、2 m、3 m、4 m、5 m 和 6 m 的半圆，具体如图 1。当测量盆栽植物时，以标签与读写器之间空间距离最短为位置 1，旋转步长角度 90°，逆时针进行旋转，旋转位置如图 2 (位置 1: 0°，位置 2: 90°，位置 3: 180°，位置 4: 270°)。

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据并制图，用 SAS 统计软件的 ANOVA 和 Duncan($P = 0.05$)对数据进行多重比较和方差分析。

2.4. 测试条件

2.4.1. 空载条件

空载条件，即标签与 RFID 读写器之间无障碍。方法如下：空载测定时，标签位于射线与半圆交点处，如图一中标签位置，标签与读写器处在同一水平线上。测定出不同距离(M)、偏移角度(A)条件下的

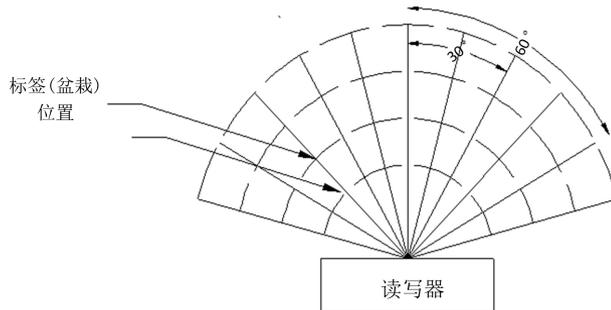


Figure 1. Tags position
图 1. 标签位置

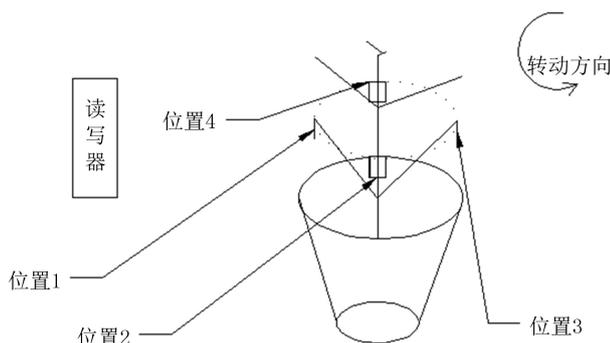


Figure 2. Tag specific location during potting rotation
图 2. 标签在盆栽旋转时的具体位置

读取次数并算出读取率 p 。

2.4.2. 盆栽条件

在空载条件下测定的有效距离和偏移角度基础上进行盆栽一品红和小桐子试验；标签贴在最外侧的叶片上，标签与读写器之间处于同一水平。带有标签的盆栽植物放置于射线与半圆交点处，如图 1 中标签(盆栽)位置。测定出不同距离(M)、偏移角度(A)条件下的读取次数并算出读取率 p 。当标签与读写器距离、偏移角度一定时，标签与读写器之间空间距离最短为位置 1，并以 90° 为旋转步长角度在同一水平面进行逆时针旋转，测定盆栽植物在不同旋转位置时的读取次数并算出读取率 p ；标签在盆栽旋转时的具体位置如图 2 所示。

3. 结果分析与讨论

3.1. 空载条件时试验结果

表 1 为空载条件时距离(M) (M1: 1 m、M2: 2 m、M3: 3 m、M4: 4 m、M5: 5 m)和偏移角度(A) (A0: 0° 、A1: 15° 、A2: 30° 、A3: 45° 、A4: 60°)对读取率(p)的影响。由表 1 可知，RFID 的 p 值与 M 和 A 成反比，A 值相同时， p 值随着 M 的增大而减小；M 值相同时， p 值随着 A 的增大而减小。

显著性分析可知，A 的范围为 $0^\circ\sim 60^\circ$ 时，距离 M1~M5 之间对读取率无显著影响。M 的范围为 1~5 m 时， 60° 处的 p 值均显著低于 $0^\circ\sim 45^\circ$ ，但 $0^\circ\sim 45^\circ$ 之间的 p 值并无显著差异。当 M 为 2~5 m 时， 60° 处的 p 值均显著低于 $0^\circ\sim 45^\circ$ ；但 $0^\circ\sim 45^\circ$ 之间的 p 值无显著性差异。

数据分析表明，在 $0^\circ\sim 45^\circ$ 时，M 为 5 m 时的 p 值均高于 97.4%，最远读取距离为 5 m。与 M1A0 相比，M1A5 的 p 值显著降低 44.2%，即当 M 为 1 m 时，其有效可读取的最大 A 为 60° 。与 M2A0、M3A0、

M4A0、M5A0 相比, M2A4、M3A4、M4A4 和 M5A4 的 p 值分别显著降低 38.7%、42.1%、32.2% 和 34.2%; 即当 M 为 2~5 m 时, 其有效可读取的最大 A 为 45°。

3.2. 盆栽一品红试验结果

图 3 为盆栽一品红时距离(M1: 1 m、M2: 2 m、M3: 3 m、M4: 4 m、M5: 5 m)和偏移角度(A0: 0°、A1: 15°、A2: 30°、A3: 45°、A4: 60°)对读取率(p)的影响。由图 3 可知, 盆栽一品红 p 值与 M 和 A 成反比, 即 p 值随着 M 和 A 的增大而降低(M5A0 处理除外)。

根据空载时测试出的距离(M)的最佳范围为 1~5 m (M1~M5), 偏移角度(A)的最佳范围为 0°~60° (A0~A4), 通过对盆栽一品红进行相关试验发现。当 M 为 1 m 时, A 对盆栽一品红 p 值无显著影响; 当 M 为 2~3 m 时, 60°处的读取率显著低于 0°~45°处的 p 值, 且 0°~45°之间的 p 值无显著影响; 当 M 为 4~5 m 时, A 对 p 值有显著影响(M4A1 处理除外)。

数据分析表明, 当 M 为 1 m 时, 盆栽一品红 p 值随着 A 的增加而降低(A0~A4); p 值均大于 96.79%, 其最小 p 值在 60°处取得; 即当 M 为 1 m 时, 其有效可读取的最大 A 为 60°。当 M 为 2~3 m 时, p 值最小值在 M3A4 处理取得, 其值为 75.7%, 此时, 其有效可读取的最大 A 为 45°。与 M4A0 相比, M4A2 和 M4A3 的 p 值分别显著降低 26.2% 和 39.0%, 即当 M 为 4 m 时, 其有效可读取的最大 A 为 15°; 与 M5A0 相比, M5A1 和 M5A2 的 p 值分别显著降低 31.2% 和 56.7%, 即当 M 为 5 m 时, 其有效可读取的最大 A 为 0°。

表 2 为盆栽一品红时其距离(M) (M1: 1 m、M2: 2 m、M3: 3 m、M4: 4 m、M5: 5 m)、偏移角度

Table 1. Distance and offset angle influence on the reading rate

表 1. 距离和偏移角度对读取率的影响

距离 M	A(偏移角度/°)				
	A0 (0°)	A1 (15°)	A2 (30°)	A3 (45°)	A4 (60°)
M1 (1 m)	100Aa	99.8 ± 0.19Aa	98.8 ± 1.19Aa	98.4 ± 0.75Aa	98.0 ± 0.57Aa
M2 (2 m)	99.9 ± 0.08Aa	99.3 ± 0.51ABa	98.7 ± 0.58Aa	98.1 ± 0.58Aa	61.2 ± 2.23CDb
M3 (3 m)	99.9 ± 0.10Aa	99.1 ± 0.21ABa	98.4 ± 0.41Aa	97.8 ± 0.31Aa	57.8 ± 2.35Db
M4 (4 m)	99.8 ± 0.18Aa	98.9 ± 0.24ABa	98.2 ± 0.25Aa	97.5 ± 0.42Aa	67.6 ± 2.14Bb
M5 (5 m)	99.7 ± 0.20Aa	98.4 ± 0.23Ba	98.0 ± 0.21Aa	97.4 ± 0.32Aa	65.5 ± 3.13BCb

注: 表中大写字母为纵向之间显著性差异、小写字母为横向之间显著性差异, 字母不同时表示处理之间有显著性差异(<0.05)。

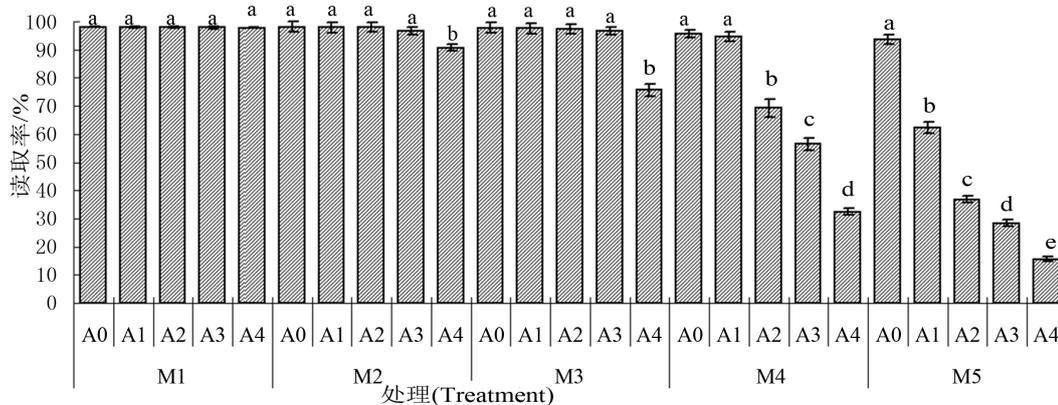


Figure 3. Distance and offset angle influence on the reading rate of the poinsettia

图 3. 距离和偏移角度对一品红读取率的影响

Table 2. The reading rates in different rotation angles under different processing positions/% (poinsettia)
表 2. 不同处理下标签在不同旋转角度(R)位置时的读取率/% (一品红)

标签在盆栽一品红的旋转位置(R)					
处理	R0	R1 (90°)	R2 (180°)	R3 (270°)	
M1	A0	98.12 ± 0.19Aa	98.04 ± 0.12Aa	97.98 ± 0.06Aa	98.08 ± 0.14Aa
	A1	98.04 ± 0.31Aa	97.86 ± 0.24Aa	97.68 ± 0.18Aa	97.80 ± 0.42Aa
	A2	97.92 ± 0.25Aa	97.75 ± 0.19Aa	97.65 ± 0.26Aa	97.73 ± 0.23Aa
	A3	97.84 ± 0.42Aa	97.58 ± 0.38Aa	96.65 ± 0.32Aa	96.76 ± 0.52Aa
	A4	97.79 ± 0.18Aa	97.41 ± 0.18Aa	96.54 ± 0.12Aa	96.45 ± 0.42Aa
M2	A0	98.12 ± 1.82Aa	98.06 ± 1.03Aa	97.92 ± 1.14ABa	98.03 ± 0.09Aa
	A1	97.86 ± 1.86Aa	96.78 ± 0.98Aa	96.45 ± 1.26ABa	96.66 ± 1.33Aa
	A2	97.83 ± 1.69Aa	96.69 ± 1.12Aa	96.42 ± 1.32ABa	96.66 ± 1.23Aa
	A3	96.67 ± 1.32Aa	96.59 ± 1.18Aa	96.26 ± 1.56ABa	96.61 ± 1.42Aa
	A4	90.67 ± 1.21Aa	81.56 ± 2.34Ab	81.34 ± 4.36ABb	83.57 ± 3.22Ab
M3	A0	97.72 ± 1.82ABa	95.46 ± 1.42Aa	96.65 ± 1.22ABa	95.32 ± 1.38Aa
	A1	97.57 ± 1.83ABa	95.32 ± 1.26Aa	96.32 ± 1.34ABa	96.87 ± 1.22Aa
	A2	97.33 ± 1.72ABa	95.30 ± 1.24Aa	95.86 ± 0.98ABa	96.56 ± 1.46Aa
	A3	96.62 ± 1.37ABa	95.29 ± 1.54Aa	95.54 ± 1.18ABa	96.08 ± 1.24Aa
	A4	75.68 ± 4.35ABa	47.65 ± 3.48Ac	59.86 ± 3.25ABb	77.22 ± 4.56Aa
M4	A0	95.46 ± 1.35BCa	93.86 ± 1.26Ba	94.64 ± 1.28Ba	94.02 ± 1.32Ba
	A1	94.50 ± 1.68BCa	82.68 ± 1.45Bb	93.36 ± 1.26Ba	94.18 ± 1.34Ba
	A2	69.31 ± 3.21BCa	43.33 ± 4.36Bc	69.01 ± 2.16Ba	56.83 ± 1.28Bb
	A3	56.45 ± 2.13BCa	28.46 ± 1.42Bc	42.36 ± 1.68Bb	55.28 ± 3.21Ba
	A4	32.46 ± 1.12BCa	8.36 ± 1.65Bc	25.48 ± 2.26Bb	31.38 ± 2.24Ba
M5	A0	93.48 ± 3.34Ca	92.86 ± 2.14Ba	93.26 ± 1.98Ca	93.06 ± 2.12Ba
	A1	62.27 ± 2.13Ca	32.12 ± 2.46Bb	33.56 ± 1.53Cb	62.18 ± 1.36Ba
	A2	36.78 ± 1.24Ca	17.38 ± 1.64Bc	25.42 ± 2.02Cb	35.69 ± 1.18Ba
	A3	28.36 ± 1.23Ca	9.36 ± 1.64Bc	15.74 ± 2.32Cb	27.44 ± 1.08Ba
	A4	15.52 ± 0.86Ca	5.36 ± 0.26Bc	8.28 ± 0.84Cb	14.58 ± 0.68Ba

注：表中大写字母为纵向之间显著性分析、小写字母为横向之间显著性分析结果，字母不同时表示处理之间有显著性差异(<0.05)。

(A)(A0: 0°、A1: 15°、A2: 30°、A3: 45°、A4: 60°)和旋转角度(R)(R0: 0°、R1: 90°、R2: 180°、R3: 270°)对读取率(p)的影响。

研究发现，M、A和R对盆栽一品红的p值的影响均有所不同。当距离为1~3m时，A和R对盆栽一品红的p值无显著影响(A4处理除外)；当距离为4~5m时，A和R对盆栽一品红的p值均有显著影响(A0处理除外)。

数据分析表明，当M和R相同时，p值随着A的增大而降低；当M和A相同时，与R1、R2、R3相比，R0的p值最大，最大p值在M1A0R0处取得，其值为98.12%，最小p值在M5A0R0处取得，其值为93.48%；当距离为1~2m时，A值相同时，R0处理下的p值最大，R2的p值最小(M1A4R2除外)，最小p值在M2A4R2处理取得，其值为81.34%；而当处理为M1A4时，影响p值的主要因素是R，即与

R0、R2 和 R3 相比, R1 处理下的标签距 RFID 读写器磁场中心最远, 导致 M1A4R1 处理时的 p 值最低, 其值为 96.41%; 当 M 为 3~5 m 时, A0 处理下, R0 的 p 值最大, 最大 p 值在 M3A0R0 处理取得, 其值为 97.72%, R1 的 p 值最小(M3A0 除外), 最小 p 值在 M5A0R1 取得, 其值为 92.86%; p 值随着 R 的增大而增大, M5A4R1 处理取得最小 p 值为 5.36%。

3.3. 盆栽小桐子试验结果

图 4 为盆栽小桐子时距离(M1: 1 m、M2: 2 m、M3: 3 m、M4: 4 m、M5: 5 m)和偏移角度(A0: 0°、A1: 15°、A2: 30°、A3: 45°、A4: 60°)对读取率(p)的影响。由图 4 可知, 盆栽小桐子的 p 值与距离(M)和偏移角度(A)成反比, 即 p 值随着 M 和 A 的增大而降低(M5A0 除外)。

根据空载时测试出的距离(M)的最佳范围为 1~5 m (M1~M5), 偏移角度(A)的最佳范围为 0°~60° (A0~A4), 通过对盆栽小桐子进行相关试验发现, 当 M 为 1 m 时, A 对盆栽小桐子 p 值无显著影响; 当 M 为 2~3 m 时, 偏移角度为 60°时的 p 值显著低于 0°~45°, 且 0°~45°之间的 p 值无显著影响; 当 M 为 4~5 m 时, A 对 p 有显著影响(M4A2 除外)。

数据分析表明, 当 M 为 1 m 时, 盆栽小桐子的 p 值随着 A 的增加而降低(0°~60°), 其 p 值最小值为 98.69%; 即有效可读取的最大 A 为 60°。当 M 为 2~3 m 时, p 的最小值在 M3A4 处理取得, 其值为 76.82%, 即有效可读取的最大 A 为 45°; 当 M 为 4 m 时, 与 M4A0 相比, M4A2 和 M4A3 的 p 值分别显著降低 26.2% 和 39.1%, 即有效可读取的最大 A 为 15°; 当 M 为 5 m 时, 与 M5A0 相比, M5A1 和 M5A2 的 p 值分别显著降低 32.2% 和 59.1%, 即有效可读取的最大偏移角度为 0°。

表 3 为盆栽小桐子时距离(M) (M1: 1 m、M2: 2 m、M3: 3 m、M4: 4 m、M5: 5 m)、偏移角度(A) (A0: 0°、A1: 15°、A2: 30°、A3: 45°、A4: 60°)和旋转角度(R) (R0: 0°、R1: 90°、R2: 180°、R3: 270°)对读取率(p)的影响。

研究发现, M、A 和 R 对盆栽小桐子的 p 值均有不同的影响。距离为 1~3 m 时, A 和 R 对盆栽小桐子的 p 值无显著影响(A4 除外); 当 M 为 4~5 m 时, A 和 R 对盆栽小桐子的 p 值均有显著影响(A0 除外)。

数据分析表明, 当 M 和 R 相同时, p 值随着 A 的增大而降低; 当 M 和 A 相同时, 与 R1、R2 和 R3 相比, R0 处理下的 p 值最大, 最大 p 值在 M1A0R0 处理取得, 其值为 99.18%, 最小 p 值在 M5A0R0 处理取得, 其值为 96.32%; 当 M 为 1~2 m 时, A 相同时, R2 处理下的 p 值最小, 最小 p 值在 M2A4R1 处理取得, 其值为 57.86%; 当处理为 M1A4 时, 影响读取率的主要因素是旋转位置 R, 即与 R0、R2 和 R3 相比, R1 处理下的标签距离 RFID 读写器磁场中心最远, 导致 M2A4R1 处理时的 p 值最低, 其值为 57.86%。当 M 为 3~5 m 时, A0 处理下, R0 的 p 值最大, 最大 p 值在 M3A0R0 处理取得, 其值为 99.01%, 最小

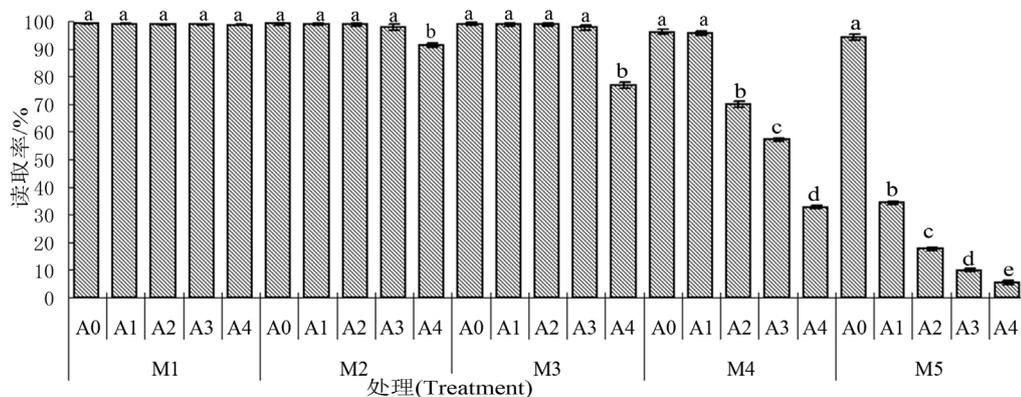


Figure 4. Distance and offset angle influence on the reading rate of the young *Jatropa curcas* L. tree

图 4. 距离和偏移角度对小桐子读取率的影响

Table 3. The reading rates in different rotation angles under different processing positions/% (Jatropha)
表 3. 不同处理下标签在不同旋转角度(R)位置时的读取率/% (小桐子)

		标签在盆栽小桐子的旋转位置(R)			
处理		R0	R1 (90°)	R2 (180°)	R3 (270°)
M1	A0	99.18 ± 0.34Aa	99.14 ± 0.18Aa	98.98 ± 0.26Aa	99.08 ± 0.16Aa
	A1	99.04 ± 0.42Aa	98.96 ± 0.34Aa	98.63 ± 0.28Aa	98.84 ± 0.36Aa
	A2	98.82 ± 0.40Aa	98.76 ± 0.28Aa	98.34 ± 0.32Aa	98.72 ± 0.38Aa
	A3	98.74 ± 0.32Aa	97.68 ± 0.26Aa	97.42 ± 0.18Aa	97.56 ± 0.32Aa
	A4	98.69 ± 0.25Aa	97.61 ± 0.16Aa	97.36 ± 0.26Aa	97.56 ± 0.22Aa
M2	A0	99.12 ± 0.82Aa	98.86 ± 1.65ABa	98.82 ± 1.23ABa	99.08 ± 0.86Aa
	A1	98.89 ± 0.12Aa	98.68 ± 1.23ABa	98.54 ± 1.22ABa	98.62 ± 1.23Aa
	A2	98.88 ± 1.08Aa	97.88 ± 2.08ABa	97.76 ± 1.65ABa	97.82 ± 1.36Aa
	A3	97.67 ± 2.14Aa	97.66 ± 2.24ABa	97.42 ± 2.34ABa	97.62 ± 2.18Aa
	A4	91.28 ± 1.14Aa	57.86 ± 1.22ABc	82.38 ± 1.42ABb	83.62 ± 1.35Ab
M3	A0	99.01 ± 0.92ABa	98.66 ± 1.12ABa	98.76 ± 1.08ABa	98.78 ± 1.18ABa
	A1	98.86 ± 1.06ABa	98.28 ± 1.23ABa	98.44 ± 1.46ABa	98.62 ± 1.14ABa
	A2	98.86 ± 1.12ABa	97.87 ± 1.34ABa	98.06 ± 1.26ABa	98.13 ± 1.68ABa
	A3	97.66 ± 2.14ABa	96.32 ± 2.46ABa	96.88 ± 2.64ABa	97.13 ± 2.62ABa
	A4	76.82 ± 2.36ABa	48.03 ± 2.12ABc	62.38 ± 3.28ABb	63.02 ± 1.45ABb
M4	A0	96.12 ± 1.88BCa	95.82 ± 2.32BCa	95.32 ± 2.46Ba	95.66 ± 2.48BCa
	A1	95.68 ± 1.38BCa	92.86 ± 2.86BCa	94.68 ± 3.42Ba	95.26 ± 2.46BCa
	A2	69.89 ± 2.35BCa	44.52 ± 2.26BCc	69.46 ± 2.02Ba	56.91 ± 1.12BCb
	A3	57.08 ± 1.21BCa	28.52 ± 1.26BCc	42.67 ± 1.82Bb	56.82 ± 1.08BCa
	A4	32.68 ± 1.04BCa	9.42 ± 1.68BCc	26.24 ± 2.12Bb	32.67 ± 2.32BCa
M5	A0	96.32 ± 2.32Ca	94.28 ± 2.42Ca	94.64 ± 3.24Ca	95.02 ± 2.68Ca
	A1	64.08 ± 1.32Ca	34.24 ± 1.06Cb	34.56 ± 1.52Cb	63.26 ± 1.24Ca
	A2	36.89 ± 1.08Ca	17.62 ± 1.32Cc	26.22 ± 1.84Cb	36.69 ± 1.08Ca
	A3	28.62 ± 1.03Ca	9.82 ± 1.32Cc	16.92 ± 2.03Cb	28.12 ± 1.82Ca
	A4	17.23 ± 1.56Ca	5.45 ± 1.22Cc	8.76 ± 0.22Cb	16.82 ± 0.42Ca

注：表中大写字母为纵向之间显著性分析、小写字母为横向之间显著性分析结果，字母不同时表示处理之间有显著性差异(<0.05)。

p 值在 M5A4R1 取得，其值为 5.45%。偏移角度相同时，p 值随着 R 的增大而增大。

4. 讨论

4.1. 不同距离、偏移角度和旋转角度对盆栽植物读取率的影响

通过盆栽一品红和小桐子试验可知，当距离(M)为 1~3 m 时，读取率随着偏移角度(A)的增大而降低。M4 和 M5 处理时，读取率随着偏移角度的增大而显著降低(M4A2 除外)。可能原因是当距离为 4 m 时，A0 和 A1 均距离天线中心线越近，磁场分布越密，读取率越高。是当距离为 5 m 时，只有 A0 处理时的

读取率高于 92.86%。A0 处于 RFID 天线中心线上, 磁力分布密, 读取率高。随着偏移角度增加磁场分布越稀疏, 导致读取率显著降低。当偏移角度相同时, 读取率随着距离的增大而降低。当盆栽植物位于读写器天线磁场中央时, 旋转角度对读取率无显著影响, 随着偏移角度和距离的增大, 旋转角度对读取率的影响有显著影响, 可能原因在于, 随着偏移角度和距离的增大, 磁场分布越低, 旋转角度对标签接收信号的影响越明显。

4.2. 不同盆栽对读取率的影响

通过盆栽一品红和小桐子试验可知, 在相同处理条件下, 小桐子的读取率高于一品红; 在 M5A0 处理下差值最大为 2.84%。而盆栽一品红和小桐子的读取率均低于空载时的读取率。可能原因在于, 空载时, RFID 标签与读写器之间无障碍; 而一品红和小桐子由于植物的冠层对 RFID 发射的信号有一定的阻碍, 导致 RFID 的读取率有所降低; 而一品红的冠幅大于小桐子的冠幅, 导致一品红的读取率低于小桐子的读取率。

5. 结论

本研究发现, 相同条件下, 冠幅较小的盆栽小桐子的读取率高于冠幅较大的一品红, 可见冠幅是引起读取率变化的主要原因。

本试验条件下得出: RFID 的最远读取距离为 5 m。距离为 1 m 时, 偏移角度范围为 $0^{\circ}\sim 60^{\circ}$; 距离为 2~3 m 时, 偏移角度范围为 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$; 距离为 4 m 时, 偏移角度范围为 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$; 距离为 5 m 时, 偏移角度为 0° 。

通过旋转角度的试验可知, 当距离为 1~2 m 时, RFID 磁场分布均匀, 读取率随着偏移角度的增大而降低, 最小值为盆栽一品红在距离为 2 m 偏移角度 45° 旋转角度 180° 处理时 96.26%。当距离为 3~5 m 时, 相同偏移角度 A 处理下(除 A0 处理外), 读取率在旋转角度 R1 位置处最小, 最小值为盆栽一品红在距离为 4 m 偏移角度 15° 旋转角度 90° 处理时 82.68%。

基金项目

国家自然科学基金(项目编号: 51379004, 51009073, 51109102); 云南省应用基础研究面上项目(项目编号: 2013FB024)。

参考文献 (References)

- [1] Ngai, E. and Riggins, F. (2008) RFID: Technology, Applications, and Impact on Business Operations. *International Journal of Production Economics*, **112**, 507-509. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.003>
- [2] 游战清, 李苏剑. 无线射频技术(RFID)理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [3] 王玲玲, 翁绍捷, 唐荣年. RFID 技术的发展和现状[J]. 热带农业科学, 2009, 33(5): 19-22.
- [4] Zhang, L. (2005) An Improved Approach to Security and Privacy of RFID Application System. *International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing*, Wuhan, 23 September-26 September 2005, 1195-1198. <https://doi.org/10.1109/wcnm.2005.1544256>
- [5] Lin, Q. (2007) Research and Design on Radio Frequency Identification Reader. *IEEE International Workshop on Anti-Counterfeiting, Security, Identification*, Xiamen, 16-18 April 2007, 356-359.
- [6] 刘禹, 朱智源, 关强, 杨一平. 基于试验设计的 RFID 应用组合测试优化研究[J]. 自动化学报, 2010, 36(12): 1674-1680.
- [7] 余平祥, 巫远媚, 胡月明, 陈联诚, 王璐. RFID 食品安全可追溯系统读取率优化策略研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 132-136.
- [8] Hogdes, S., Thome, A., Mallinson, H. and Floerkemeier, C. (2007) Assessing and Optimizing the Range of UHF RFID to Enable Real-World Pervasive Computing Applications. *Proceedings of the 5th International Conference on Perva-*

sive Computing, Toronto, 13-16 May 2007, 280-297.

- [9] 钱建平, 吴晓明, 杨信廷, 等. 果树无线射频标签不同悬挂方式对读取率的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(s1): 170-174.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjas@hanspub.org