

육묘용 로봇 이식기의 개발(II)⁺

- 이식 그리퍼 -

Development of a Robotic Transplanter for Bedding Plants(II)

- Transplanting Gripper -

| | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 류 관 희* | 김 기 영* | 이 희 환* | 박 정 인* |
| 정회원 | 정회원 | | |
| K. H. Ryu | G. Y. Kim | H. H. Lee | J. I. Park |

ABSTRACT

The use of a robotic transplanter reduces the labor requirement in the greenhouse by carrying out repetitive tasks in an accurate and reliable manner. The transplanter manipulates seedlings by means of end-effector. The end-effector is designed differently from an industrial robot because it manipulates biological seedlings of variable size, shape, position, and orientation. This study was conducted to develop an end-effector of a robotic transplanter for bedding plants. The development of an end-effector included selection of the best finger type for the transplanting operation. The performance of developed end-effector was tested and compared with two different transplanting schemes depending on the leaf-orientation consideration. The end-effector developed in this research reliably handled seedlings during transplanting task.

Results showed that the shovel type finger was suitable for transplanting with the damaging seedlings.

주요용어(Key Words): 그리퍼(gripper), 핑거(finger), 로봇 이식기(robotic transplanter)

1. 서 론

농촌 노동력의 감소에 따라 개개의 농가에서 자가 육묘 하기 보다는 소위 육묘공장에서 모종을 구매하여 정식하는 농가가 늘어나고 있다. 육묘공장에서는

고품질의 모종을 공급하기 위하여 파종과 생육관리 시스템에 자동화 설비를 적용하고 있으나, 결주 및 불량묘를 완전묘로 보충하기 위하여 많은 노동력을 필요로 하고 있어 이에 대한 해결책으로 육묘용 로봇 이식기의 개발이 필요하다. 또한, 시설재배의 발

+ 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

전된 형태가 식물 공장임을 감안할 때, 자동 이식 시스템의 도입이 불가피하다고 판단된다.

육묘용 로봇 이식기의 가장 중요한 부분은 그리퍼이다. 다른 목적으로 사용되는 로봇의 경우도 그러하지만, 특히 어린 모종을 대상으로 하는 이식용 로봇의 경우 그리퍼가 차지하는 비중이 매우 중요하다고 할 수 있다. 산업용 로봇처럼 규격화된 재료들을 대상으로 작업하는 경우 재료들의 모양이나 성질 등이 표준화 되어 있어 이에 알맞은 그리퍼를 정밀하게 제작하여 사용하면 되지만, 작물을 대상으로 하는 경우 각기 생긴 모양도 다를 뿐만 아니라 재배 위치도 모두 다르기 때문에 하나의 그리퍼로 여러 종류의 작물을 이식하는데 이용할 수 없다. 따라서 적절한 이식용 그리퍼를 설계하기 위해서는 작업대상 작물의 종류, 이식 작업시 작물의 생육 단계, 육묘용 묘판, 상토의 종류 등을 충분히 고려해야 한다.

로봇 이식기의 그리퍼에 관한 연구로서 국내의 경우 Kim 등(1995)이 랙과 피니언을 이용한 4개의 핑거를 가진 그리퍼에 대한 연구를 수행하였고, 외국의 경우 Kutz와 Miles 등(1987)이 parallel-jaw 모양의 그리퍼의 운동이 육묘 묘판에서 재배 묘판으로 이식하는데 적절하다고 보고 하였으며, Ting 등(1990)은 다양한 셀 크기의 플러그 묘판에 적용할 수 있는, 공압으로 구동되는 니들을 이용한 두 개의 그리퍼를 설계, 제작하여 실험한 결과를 보고하였다.

본 연구는 육묘용 로봇 이식기의 이식작업을 위한 그리퍼의 개발을 목표로 하고 있으며, 이식작업시 모종이 입는 상해를 최소화 하는데 그 목적이 있다. 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- ① 이식방법에 따라 적절한 이식작업을 수행할 수 있는 그리퍼를 개발하고, 플러그묘 이식작업에 가장 적절한 핑거의 형태를 찾아낸다.
- ② 이식방법에 따라 이식실험을 수행하고, 이를 비교한다.

2. 재료 및 방법

가. 그리퍼의 설계 및 제작

이식작업을 성공적으로 수행하기 위해서는 모종을 집어서 이식하는 그리퍼의 성능이 매우 중요하다. 위의 조건에 만족시키기 위한 그리퍼를 제작하기 위해서 본 연구에서 설정한 설계기준은 다음과 같다.

- ① 작업 대상 작물에 상해를 입히지 말아야 한다.
- ② 이식작업시 모종의 뿌리 보호를 위해 상토의 원형을 유지시켜야 한다.
- ③ 이식할 모를 플러그 묘판으로부터 분리하여야 한다.
- ④ 매니플레이터가 이동하는 동안 집어든 모종을 떨어뜨려서는 안된다.
- ⑤ 구조가 비교적 간단하고, 작업시 변형이 없어야 한다.
- ⑥ 다습한 환경에서 사용하기 때문에 내부식성을 보유해야 한다.

본 연구의 그리퍼가 적용될 로봇 이식기는 이식방법에 따라 그리퍼의 작업이 달라지도록 하였는데 이식방법은 다음과 같다.

- ① 결주 및 불량묘를 제외한 완전묘만을 이식하는 방법
 - ② 완전묘만을 이식하며, 동시에 그리퍼의 작업에 의한 상해를 최소화하기 위하여 앞의 방향에 따라 그리퍼의 핑거가 회전한 후 이식하는 방법
- 그리퍼로 이식작업시 상토와 모종을 같이 이식하기 위해서 핑거로 모종의 뿌리와 상토를 같이 집는다. 두 가지 이식방법중 첫 번째 이식방법에 따른 그리퍼의 동작은 두 번째 이식방법에서 회전 운동만을 제외하면 같기 때문에 두 번째 이식방법에 따라 그리퍼를 설계하였다.

그리퍼는 이식될 모종의 바로 위에서 작업하게 되는데, 이때 핑거가 잎을 피해 작업할 수 있도록 회전해야 한다. 모종에 대한 데이터는 이 (1997)가 개발한 육묘용 로봇 이식기의 기계시각 시스템을 사용하여 얻었다. 영상처리 결과로 얻어지는 데이터에는 잎의 방향이 포함되며, 잎의 방향에 따른 핑거의 회전 운동을 위해서는 스텝핑 모터를 사용하였다. 핑거가 모종의 상태를 잡을 수 있도록 하기 위하여 핑거를 상토에 짚어주는 구동원으로는 공압 실린더 (air cylinder)를, 상토를 집는 구동원으로는 공압 척 (air chuck)을 사용하였다. 이들 구동원에 대한 배치를 그림 1에 나타내었다.

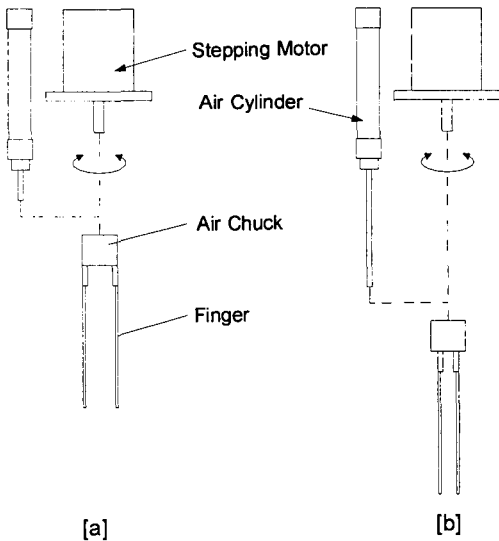


Fig. 1 Schematic diagrams of the gripper operating parts.

1) 회전운동 구동부

핑거의 회전 운동은 스텝핑 모터에 의하여 구동된다.

2) 공압 시스템

본 연구에 필요한 공압 시스템은 공기 압축기(air compressor), 클린 유니트(clean unit), 솔레노이드 밸브

(solenoid valve), 공압 실린더(air cylinder), 공압 척 (air chuck), 속도 조절 밸브 등으로 구성되어 있다.

공압 시스템은 공기 압축기에서 압축된 공기를 클린 유니트의 필터에 통과시켜 수분을 제거하고 여기에 오일을 미량으로 첨가시킨 다음 솔레노이드 밸브로 보내 공압 실린더와 공압 척의 방향을 제어하도록 되어 있다.

공압 시스템의 요소들을 선정하기 위해 공압 실린더의 내경과 행정, 공압 척의 행정을 결정해야 한다. 공압 척의 행정은 이식작업시 필요한 행정에 따라 선정하였으며, 플러그 묘판의 셀의 크기에 따라 그 크기를 결정하였다.

공압 실린더의 내경은 공압 실린더에 걸리는 부하에 의해 결정되며, 행정은 작물의 크기와 플러그 묘판의 깊이에 의해 결정된다. 공압 실린더의 내경을 선정하기 위해서는 로드 선단에 걸리는 부하의 상태를 알 필요가 있다. 본 연구에서 공압 실린더에 걸리는 부하는 공압 척, 핑거, 상토와 모종, 그리고, 핑거의 안내 레일 역할을 하는 직선운동 가이드 등의 무게에 해당한다.

$$F = W_c + W_f + W_s + W_p + W_e \dots\dots\dots (1)$$

여기서 F : 로드 선단에 걸리는 부하

W_c : 에어척의 무게

W_f : 핑거의 무게

W_s : 상토의 무게

W_p : 모종의 무게

W_e : 가이드 및 기타 부품의 무게

핑거, 상토와 모종의 무게는 최대값으로 설정하였다. 특히, 상토의 무게는 포함된 수분의 양에 따라 달라지는데 수분이 충분히 포함되어 있다고 가정하였다. 그 외에도 이론 출력과 로드 선단에 걸리는 부하와의 비를 표시한 부하율, 실린더의 이론 출력, 구

동에 필요한 압력, 공기 유량 등을 선정해야 한다. 이렇게 선정된 값을 기준으로 공압 실린더를 선정하였으며, 공압 실린더와 공압 척의 방향 제어를 위하여 사용한 솔레노이드 밸브를 사용하였다.

3) 핑거

핑거는 이식작업시 모종을 집을 역할을 한다. 본 연구에서는 다음 그림 2와 같이 4종류의 핑거를 제작하였으며, 핑거의 길이는 플러그 묘판의 깊이에 따라 결정하였다. 4가지의 핑거는 발표된 논문에서 제안된 핑거의 형태를 기준으로 개량한 형태이다. 이들 핑거들은 제작이 간편하고, 여러 종류의 대상물에 적용이 가능하도록 하였다.

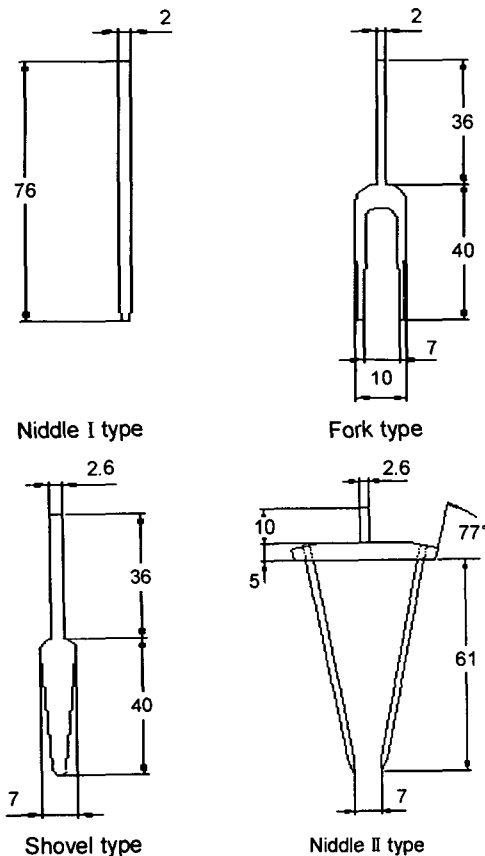


Fig. 2 Shape and dimensions of the fingers developed.

4) 그리퍼

그리퍼는 매니플레이터의 Z축 하단에 부착할 수 있도록 몸체를 설계하였고, 공압 실린더와 공압 척에 공기를 공급해 주기 위한 공압 호스를 고정할 수 있도록 하였다. 그리고, 이식작업시 공압 실린더 로드의 회전을 방지하고 운동 방향을 안내할 수 있도록 직선운동 가이드를 사용하였으며, 스텝핑 모터의 회전부에 커플링과 베어링을 사용하였다. 그리고 모종을 그리퍼에서 분리하기 위하여 분리 가이드를 제작하여 핑거 옆에 부착하였다. 각 기계 요소들의 재질은 그리퍼의 무게를 줄이기 위하여 알루미늄을 사용하여 제작하였으며, 제작된 그리퍼의 외형을 그림 3, 4에 나타내었다.

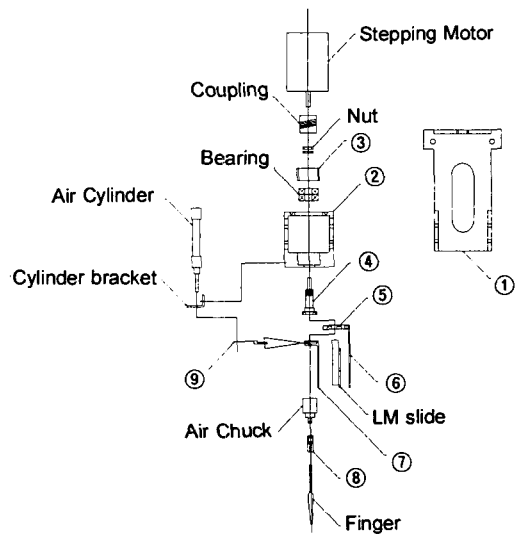
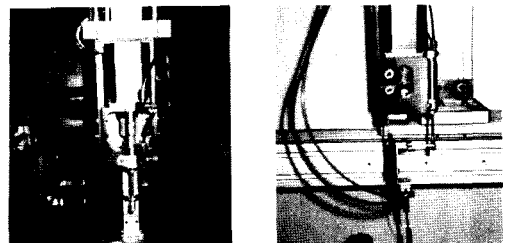


Fig. 3 Parts of the gripper developed.



[a] Front view

[b] Side view

Fig. 4 Photograph of the gripper developed.

나. 제어장치의 개발

스테핑 모터의 구동을 위해서 모터의 회전방향과 회전각도에 따른 펄스 신호가 필요하며, 공압 실린더와 공압 척을 구동시키기 위해서 솔레노이드 밸브의 방향제어 신호가 필요하다. 솔레노이드 밸브를 구동시켜 주기 위하여 SSR(Solid State Relay)을 사용하였다. 모든 제어는 컴퓨터에 의해 이루어지며, 컴퓨터의 제어신호를 전달해 줄 컨트롤러를 제작하였다.

다. 그리퍼 작동 방식

그리퍼의 작업방식은 모종을 공압척을 이용하여

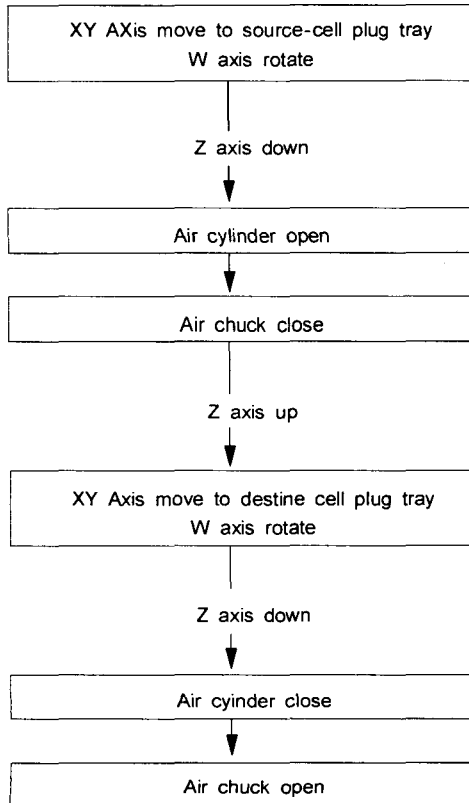


Fig. 5 Flowchart of gripper operation.

잡는 형태로 취하였다. 먼저 모종을 잡을 때는 W축(스테핑 모터)이 앞의 방향에 따라 회전한 후 공압실린더와 공압척을 순차적으로 작동하여 모종을 잡는다. 그런 후 모종을 다는 트레이에 이식할 때에는 W축을 원래 위치로 이동한 후 공압척과 공압실린더의 순차적 작동으로 모종을 트레이에 안착시킨다. 이때 모종이 그리퍼에서 잘 분리되도록 분리가이드를 이용하여 기계적으로 모종과 그리퍼를 분리시킨다. 그리퍼의 작업 흐름도를 다음 그림 5에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

제작된 팽거의 형태와 이식방법에 따라 그리퍼의 성능 평가를 실시하였다. 성능 평가 실험을 위하여 오이를 실험 작물로 선정하였는데, 그 이유는 파종 후 이식작업이 가능한 상태까지 성장하는데 걸리는 시간이 비교적 짧기 때문이다. 실험을 위해서 오이를 128구와 72구의 플러그 묘판에 피트모스를 사용하여 파종하였고, 서울대학교 부속농장의 벤로(venlo)형 유리 온실에서 키웠으며, 파종 후 16일 지난 것을 사용하였다.

그리퍼의 자체 성능 평가를 위하여 결주가 없는 플러그 묘판을 사용하였으며, 그리퍼의 이식작업중 128구의 플러그 묘판에서 모종을 집어내는 모습을 그림 6에 차례로 나타내었다.

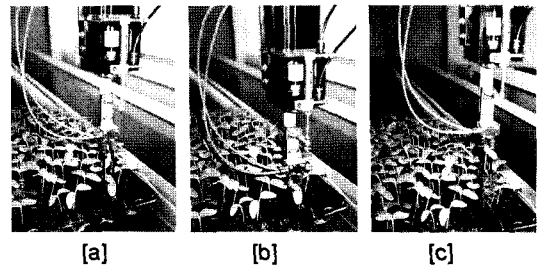


Fig. 6 Photograph of gripper operation.

그림 6의 (a)는 공압 실린더를 사용하여 핑거를 모종의 상태에 질러주는 모습이고, (b)는 공압 척을 사용하여 핑거로 상태를 잡아주는 모습이며, (c)는 모종을 집어서 뽑는 작업 모습이다.

가. 첫 번째 이식방법에 따른 완전묘의 이식

첫 번째 이식방법에 따라 핑거 형태별로 각각 50개의 모종을 대상으로 실험하였으며, 결주가 없는

플러그 묘판을 사용하였기 때문에 영상처리하는 수행하지 않았다. 72구의 실험결과를 표 1에, 128구의 실험결과를 표 2에 나타내었다.

핑거의 형태에 따른 실험 결과 72구와 128구의 플러그 묘판 모두에서 삽(shovel)형 핑거가 이식작업에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 포크형 핑거를 사용한 이식작업은 모종의 잎에 상해를 주는 경우가 나타났다.

Table 1 Test results of the gripper tests by finger type with 50 seedlings for the 72-cell plug tray

| Finger type | Niddle I type | | Fork type | | Shovel type | | Niddle II type | |
|---------------------------------------|---------------|-----|-----------|-----|-------------|-----|----------------|-----|
| | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum |
| Seedlings failed to isolate from cell | 23 | 33 | 7 | 10 | 1 | 2 | 22 | 30 |
| Seedlings missed during moving | 10 | | 1 | | 0 | | 8 | |
| Seedlings failed to plant | 0 | | 1 | | 1 | | 0 | |
| Seedlings damaged | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | |
| Seedlings planted successfully | 17 | | 40 | | 48 | | 20 | |

Table 2 Test results of the gripper tests by finger type with 50 seedlings for the 128-cell plug tray

| Finger type | Niddle I type | | Fork type | | Shovel type | | Niddle II type | |
|---------------------------------------|---------------|-----|-----------|-----|-------------|-----|----------------|-----|
| | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum |
| Seedlings failed to isolate from cell | 18 | 23 | 3 | 7 | 1 | 1 | 14 | 19 |
| Seedlings missed during moving | 5 | | 2 | | 0 | | 5 | |
| Seedlings failed to plant | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| Seedlings damaged | 0 | | 2 | | 0 | | 0 | |
| Seedlings planted successfully | 27 | | 43 | | 49 | | 31 | |

나. 두 번째 이식방법에 따른 완전묘의 이식

핑거의 형태에 따라 각각 50개의 모종을 대상으로

실험하였으며, 영상처리 결과로 계산된 잎의 방향에 따라 핑거를 회전시켜 잎을 피해 작업하도록 하였

다. 72구의 실험결과를 표 3에, 128구의 실험결과를 표 4에 나타내었다.

앞의 방향에 따라 핑거를 회전시킨 결과 핑거에 의해 모종이 상해를 입은 경우는 없었으며, 앞의 실험

결과와 마찬가지로 핑거의 형태에 따른 실험 결과 128구와 72구의 플러그 묘판 모두에서 삽(shovel)형 핑거가 이식작업에 가장 적합한 것으로 나타났다.

Table 3 Test results of the gripper tests by finger type with 50 seedlings for the 72-cell plug tray, considering leaf direction

| Performance | Finger type | | Niddle I type | | Fork type | | Shovel type | | Niddle II type | |
|---------------------------------------|-------------|-----|---------------|-----|-----------|-----|-------------|-----|----------------|-----|
| | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum |
| Seedlings failed to isolate from cell | 23 | 35 | 7 | 10 | 1 | 1 | 19 | 28 | | |
| Seedlings missed during moving | 12 | | 2 | | 0 | | 9 | | | |
| Seedlings failed to plant | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | | |
| Seedlings damaged | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | | |
| Seedlings planted successfully | 15 | | 40 | | 49 | | 22 | | | |

Table 4 Test results of the gripper tests by finger type with 50 seedlings for the 128-cell plug tray, considering leaf direction

| Performance | Finger type | | Niddle I type | | Fork type | | Shovel type | | Niddle II type | |
|---------------------------------------|-------------|-----|---------------|-----|-----------|-----|-------------|-----|----------------|-----|
| | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum | Cell | Sum |
| Seedlings failed to isolate from cell | 20 | 27 | 3 | 6 | 0 | 0 | 14 | 20 | | |
| Seedlings missed during moving | 7 | | 3 | | 0 | | 6 | | | |
| Seedlings failed to plant | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | | |
| Seedlings damaged | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | | |
| Seedlings planted successfully | 23 | | 44 | | 50 | | 30 | | | |

다. 제언

제작된 그리퍼는 뿌리의 상태와 피트모스의 함수율이 이식성능에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 모종의 발육상태는 손으로 모종을 잡고 들어 올릴 때 피트가 부서지지 않을 정도의 발육이 일어났

을 때 가능함을 알 수 있었으며, 피트의 함수율도 그리퍼의 작동방식이 상토를 잡아서 올리는 방식이므로 함수율이 많으면 흙이 부서져 이식성능이 나뎠을 수 있었다. 이식성능이 뿌리의 발육 상태와 피트모스의 함수율에 대한 관계를 추후 계속적으로 수행하여 규명해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 이희환. 1997. 육묘용 로봇 이식기의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
2. Kim K. D., S. Ozaki and T. Kojima. 1995. Development of an automatic robot system for a vegetable factory. I. Transplanting and raising seedling robot in a nursery room. Proceedings of ARBIP95, Kobe, Japan. vol. 1:157-163.
3. Kutz L. J., G. E. Miles, P. A. Hammer and G. W. Krutz. 1987. Robotic transplanting of bedding plants. Transactions of the ASAE vol. 30(3):586-590.
4. Ting, K. C., G. A. Giacomelli, S. J. Shen, and W. P. Kabala. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part II : End-effector development. Transactions of the ASAE vol. 33(3):1013-1017.