

# 不同栽植密度杏园光照变化规律研究

王玉蓉, 廖康, 贾杨, 刘曼曼, 廖小龙, 赵世荣

(新疆农业大学 新疆特色果树研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**以不同栽植密度杏园为研究对象,使用 HOBO were 微型气象站和 LAI-2200 冠层分析仪,分析比较了不同栽植密度杏园不同部位的光合有效辐射(PAR)日变化和叶面积指数(LAI)变化,以了解不同栽植密度杏园的不同部位的光照强度变化规律,为选择合理建园密度及整形修剪提供理论依据。结果表明:不同栽植密度杏园全天中 PAR 的变化都呈现出“低-高-低”的规律;杏园的株间、行间和树冠中心的 PAR 依次为:行间>株间>树冠中心。 $2\text{ m}\times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m}\times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m}\times 6\text{ m}$  的杏园 LAI 值在 3.0~5.0, $4\text{ m}\times 8\text{ m}$  和  $8\text{ m}\times 8\text{ m}$  杏园 LAI 值低于 3.0。不同密度杏园 LAI 值依次为: $2\text{ m}\times 4\text{ m}>4\text{ m}\times 4\text{ m}>4\text{ m}\times 6\text{ m}>4\text{ m}\times 8\text{ m}>8\text{ m}\times 8\text{ m}$ ;杏园不同部位的 PAR 和 LAI 与栽植的株行距关系密切, $4\text{ m}\times 6\text{ m}$  的杏园不同部位的 PAR 和 LAI 值较为合理,杏园光照分布比较均匀,透光性较好。

**关键词:**杏园;栽植密度;光合有效辐射;叶面积指数

**中图分类号:**S 662.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)14-0006-04

杏是新疆主栽果树之一,主栽于南疆喀什、和田、阿克苏等地,生产上由于栽植密度、整形修剪和间作等原因,导致杏园内光照不足或光照分布不均匀等问题,使得杏树产量和品质受到很大影响。杏树为喜光树种,其栽植密度、冠层结构决定了其受光态势,杏树冠层的光分布状况与其树冠形状、枝叶数量、枝叶密度和不同枝类的空间分布有着密切的关系,直接影响杏园的产量和果实品质。探讨栽植密度对杏园冠层不同部位受光特性的影响,对于选择合理的栽植密度及杏园高产优质具有重要的理论和实践意义。光合有效辐射(Photo-synthetically active radiation, PAR)是指波长 400~700 nm,能被绿色植物利用来进行光合作用那部分太阳辐射,它是形成生物量的基本来源,它直接影响植物的生长、发育、产量和品质的形成<sup>[1-2]</sup>。适宜的栽植密度、合理的群体结构、个体空间分布、良好的光照体系等是实现优质丰产的关键因素之一<sup>[3-4]</sup>。于年文等<sup>[5]</sup>在对不同栽植密度对苹果光分布及果实品质的影响研究指出,不同栽植密度对光强影响存在显著差异,随着密度的加

大,相对光强降低,树冠内的无效光区增大,果实品质降低。晁海等<sup>[6]</sup>、马媛等<sup>[7]</sup>研究表明,杏树冠层内部平均 PAR 的垂直分布具有随着向下累积叶面积指数的增加而指数递减的趋势,在冠层中上部 PAR 透光率较高,递减明显,冠层下部则维持较低水平,变化不大。PAR 和 LAI 的变化与株行距、树冠大小、方位有关。该研究选择不同栽植密度杏园为研究对象,比较其 PAR 日变化和 LAI 特性差异,揭示 5 种栽植密度杏园的光照分布及变化规律,为建植合理的杏园密度配置,实现杏优质高产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在轮台县哈尔巴克乡进行,地理坐标为东经  $84^{\circ}11'$ ,北纬  $41^{\circ}44'$ ,海拔高度 1 050 m。试验地处于塔克拉玛干沙漠北缘,属于暖温带大陆性干燥气候,年平均气温为  $10.6^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $4\ 038.5^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量 52 mm,年蒸发量 2 072 mm,年日照 2 783 h,年平均太阳总辐射量  $577.6\text{ kJ}/\text{cm}^2$ ,无霜期 188 d 左右<sup>[8]</sup>。

### 1.2 试验材料

供试试验园主栽杏品种为生长状况良好、长势基本一致的 10 年生“轮台白杏”,无病虫害,树形为自然开心形,行间间作小麦,常规管理。

### 1.3 试验方法

试验设置 5 种栽植密度处理,分别为: $2\text{ m}\times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m}\times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m}\times 6\text{ m}$ 、 $4\text{ m}\times 8\text{ m}$ 、 $8\text{ m}\times 8\text{ m}$ ,见表 1。于 2013 年 6 月初至 7 月中旬,选择晴天,使用 HOBO were

**第一作者简介:**王玉蓉(1988-),女,四川射洪人,硕士研究生,研究方向为果树种质资源学。E-mail:15022912498@163.com

**责任作者:**廖康(1962-),男,四川梓潼人,教授,博士生导师,现主要从事果树资源及栽培生理等研究工作。E-mail:13899825018@163.com

**基金项目:**国家公益性行业科研专项资助项目(201304701);新疆维吾尔自治区果树学重点学科资助项目。

**收稿日期:**2014-03-19

微型气象站对不同栽植密度杏园不同部位的 PAR 日变化进行测量。选择阴天,使用美国 LI-COR 公司的 LAI-2200 冠层分析仪对杏园不同部位的 LAI 进行测量。选

取试验园的株间、行间和树冠中心的 3 个位置进行测量,PAR 日变化值从 08:00~20:00 时开始每 1 h 自动记录 1 次数据,LAI 取 3 次测量的平均值。

表 1

试验园杏树生长基本状况

Table 1

The basic growth conditions of apricot trees in the experiment orchards

株行距	朝向	树高	冠幅	主枝数量	一级枝数量	二级枝数量
Inter-plant and inter-row spacing/m×m	Tendency	Tree height/m	Crown height/m×m	Leader branch number/枝	First branch number/枝	Second branch number/枝
2×4	南北	6.6	3.7×3.8	3	5	19
4×4	南北	6.7	4.9×6.1	4	10	27
4×6	南北	6.5	5.3×6.0	4	8	25
4×8	南北	7.3	5.1×6.3	4	13	28
8×8	南北	7.0	5.8×6.5	5	14	29

## 1.4 数据分析

数据采用 Excel 软件绘图并分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同栽植密度杏园 PAR 日变化

2.1.1 行间 PAR 日变化特性 从图 1 可以看出,杏园行间 PAR 的变化趋势非常明显,行间 PAR 最大值为  $1\,831.2\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最小值为  $11.2\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最小值与最大值之间相差  $1\,820.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。日出和日落时最低,15:00~16:00 最高。8 m×8 m 的杏园行间 PAR 值在全天中始终比其它 4 种密度杏园行间 PAR 值高。8 m×8 m 和 4 m×8 m 的杏园行距相同,但在全天的变化中其 PAR 值差异显著。在 17:00 时 8 m×8 m 的杏园和 4 m×6 m 的杏园 PAR 值相近。在 08:00~15:00,4 m×8 m 的杏园行间 PAR 高于 4 m×6 m 的杏园,但在 17:00~20:00 时 4 m×6 m 的杏园 PAR 值高于 4 m×8 m 的杏园行间 PAR 值。2 m×4 m 的杏园行间 PAR 值始终低于其它杏园。

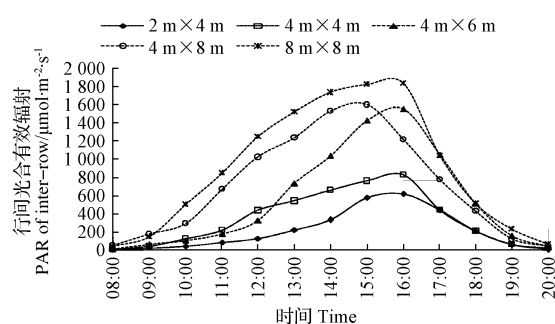


图 1 5 种栽植密度杏园行间 PAR 日变化

Fig1 Daily variation of inter-row PAR of five kinds of planting density apricot orchard

2.1.2 株间 PAR 日变化特性 由图 2 可以看出,5 种密度杏园株间 PAR 和行间的变化规律相似。从时间分布上来看 PAR 最小值出现在 08:00 和 20:00,即最小值出现在日出和日落,最高值出现在 15:00~16:00。从杏园不同株距的 PAR 值日变化可得出,依次为:8 m×8 m>4 m×8 m>4 m×6 m>4 m×4 m>2 m×4 m。

其中 8 m×8 m 的杏园 PAR 始终高于其它杏园的株间 PAR 值,2 m×4 m 的杏园株间 PAR 值始终低于其它杏园。4 m×8 m、4 m×6 m 和 4 m×4 m 的杏园株距虽然相同,但其 PAR 值差异相当显著,栽植密度 4 m×8 m 的株间 PAR 值明显高于 4 m×6 m 和 4 m×4 m。

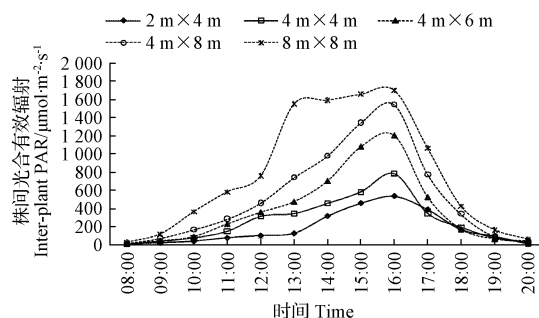


图 2 5 种密度杏园株间 PAR 日变化

Fig.2 Daily variation of inter-plant PAR of five kinds of planting density apricot orchard

2.1.3 树冠中心的 PAR 值日变化特性 由图 3 可以看出,杏园树冠中心的 PAR 和株间、行间的变化规律一样,树冠中心的 PAR 值低于株间和行间的 PAR 值,树冠中心 PAR 的最大值为  $861.2\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最小值为  $11.2\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大值和最小值之间相差  $850.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。8 m×8 m 的杏园树冠中心

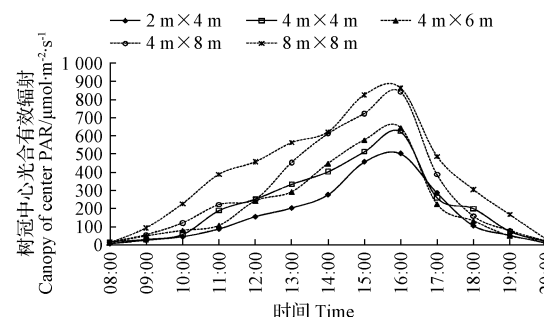


图 3 5 种密度杏园树冠中心 PAR 日变化

Fig.3 Daily variation of canopy center PAR of five kinds of planting density apricot orchard

PAR 值始终高于其它杏园,且在全天中  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  和  $4\text{ m} \times 8\text{ m}$  的杏园树冠中心 PAR 值差异显著,而  $4\text{ m} \times 6\text{ m}$  和  $4\text{ m} \times 4\text{ m}$  的杏园 PAR 值差异不大。 $4\text{ m} \times 6\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$  和  $2\text{ m} \times 4\text{ m}$  杏园 PAR 值在 08:00~16:00 差异显著,而在 17:00~20:00 差异不明显。

## 2.2 不同栽植密度杏园不同部位的 LAI 的比较

由图 4 可以看出,不同密度杏园行间、株间及树冠中心的 LAI 值依次为: $2\text{ m} \times 4\text{ m} > 4\text{ m} \times 4\text{ m} > 4\text{ m} \times 6\text{ m} > 4\text{ m} \times 8\text{ m} > 8\text{ m} \times 8\text{ m}$ ,但是树冠中心的 LAI 值明显高于行间和株间。 $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$  和  $4\text{ m} \times 6\text{ m}$  的杏园 LAI 值在 3.0~5.0,  $4\text{ m} \times 8\text{ m}$  的杏园株间和树冠中心的 LAI 值大于 3.0,但是行间的 LAI 值低于 3.0,  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  的杏园的行间、株间及树冠中心的 LAI 都低于 3.0,且  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  的杏园树冠中心 LAI 明显比行间和株间的大。

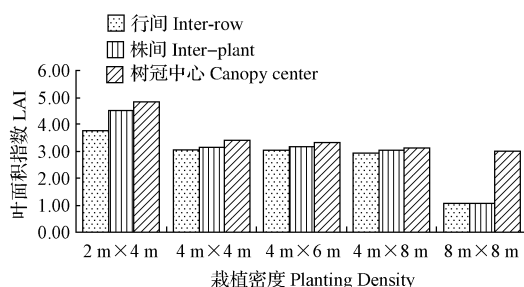


图 4 5 种密度杏园不同部位的 LAI

Fig. 4 Different parts of LAI of five kinds of planting density apricot orchard

从冠幅的变化来看, $2\text{ m} \times 4\text{ m}$  和  $4\text{ m} \times 4\text{ m}$  杏园趋于郁闭,LAI 值随株距的增大而减小, $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 6\text{ m}$  和  $4\text{ m} \times 8\text{ m}$  的同一株距的杏园中,LAI 值随杏树冠幅的增大而增大, $4\text{ m} \times 8\text{ m}$  和  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  的同一行距的杏园,冠幅增大的同时加大株距,杏园遮挡相对减少,LAI 值较小。

由此可见,同一株距和行距中,栽植密度越大,树体遮挡所占的比例就越多,郁闭程度就越大,LAI 值也就增大。不同的栽植密度,对果园冠层的影响反映了叶幕的差异,枝叶量大,株行距间相互遮挡比例大,这是株行距较小时杏园 LAI 值增大的原因。

## 3 讨论与结论

不同栽植密度杏园的不同部位的 PAR 差异较大,杏园的行间、株间、树冠中心的 PAR 日变化都呈单峰曲线,但是其峰值差异明显。表明栽植密度对杏园 PAR、果园产量和果实品质影响较大。此结果与马媛等<sup>[7]</sup>、周瑞金等<sup>[9]</sup>在杏和柿冠层受光特性分析中的研究结果基本一致。株行距大的果园光照分布充足,树体遮荫部分所占的比例少,果园的叶幕厚度小。株行距小的果园,树冠开张导致了相邻树冠冠层重叠,使得杏园遮挡严

重,叶幕厚度增大,透光率下降,严重影响杏园的 PAR 值。

LAI 是衡量群落和种群生长状况和光能利用率的重要指标,其通常有一个最适值,该值是当光通过叶冠被均匀吸收的叶面积<sup>[10]</sup>。研究表明,杏树的 LAI 在 3.0~5.0 比较合适,低于 3.0 时不能充分利用光能<sup>[7]</sup>。但 LAI 会因为栽植密度、修剪技术和田间管理水平不同而使杏园枝叶分布状况不同,从而影响光在冠层内的传递,而使杏园受光差异很大。只有当冠层各层、各方向透光率保持在相同水平,才能充分利用光能。

单位面积上杏树的群体密度较小,会导致其产量降低<sup>[11]</sup>。 $10\text{ a}$  杏园已经形成不同程度的郁闭现象, $2\text{ m} \times 4\text{ m}$  和  $4\text{ m} \times 4\text{ m}$  杏园其遮荫较大,使得株间和行间的受光量小,受光面积小; $4\text{ m} \times 6\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 8\text{ m}$ 、 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  杏园株行距较大,树体的透光率很高。因此杏园的密度过大或过小会影响杏园的产量。

在果园的生产管理当中,解决果园叶幕遮挡和透光率的关键是栽植时确定适宜的密度,利于通风透光的朝向,形成与杏园相适应的冠幅大小和合理的枝条分布空间,提高杏园冠层不同部位光的合理分布,从而提高杏园的产量、品质 and 经济效益。

同一树龄和朝向的杏园,因栽植密度的不同,树高、冠幅和主枝数量表现出一定的差异,这也与肥水管理及间作物长势有一定的关系。全天中 PAR 呈单峰曲线变化,且变化的趋势明显,早晨和傍晚的 PAR 最小,中午最大。在不同的密度下,行间的 PAR 高于株间和树冠中心, $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  的杏园在全天中 PAR 始终高于其它杏园。由杏园不同部位的 PAR 值日变化可得出,PAR 依次为: $8\text{ m} \times 8\text{ m} > 4\text{ m} \times 8\text{ m} > 4\text{ m} \times 6\text{ m} > 4\text{ m} \times 4\text{ m} > 2\text{ m} \times 4\text{ m}$ ,表现为明显的株行距效应,即株行距越大对杏园的受光影响就越小,反之影响越大。 $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 、 $4\text{ m} \times 6\text{ m}$  的杏园 LAI 值在 3.0~5.0,  $4\text{ m} \times 8\text{ m}$  和  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  杏园 LAI 值都低于 3.0。综合该试验得出的结论, $4\text{ m} \times 6\text{ m}$  的杏园不同部位的 PAR 和 LAI 值较为合理,杏园光照分布比较均匀,透光性较好。

(该文作者还有彭晓莉,单位同第一作者。)

## 参考文献

- [1] 孟昭清,刘国杰. 果树整形修剪技术-密植简化优质修剪技术[M]. 北京:中国农业出版社,1996:110-112.
- [2] 左大康,周允华,项月琴. 地球表面辐射研究[M]. 北京:科学出版社,1991:314-427.
- [3] Widmer A, Krebs C. Influence of planting density and tree form on yield and fruit quality of 'Golden delicious' and 'Royal gala' apples[J]. Acta Horticulturae, 2001, 557: 235-241.
- [4] Wertheim S J, Wagenmakers P S, Bootsma J H, et al. Orchard systems for apple and pear: conditions for success[J]. Acta Horticulturae, 2001, 557: 209-227.
- [5] 于年文,徐贵轩,王宏,等. 栽植密度对苹果光分布及果实品质的影

响[J]. 河北果树, 2002(6):8-9.

[6] 晁海, 张大海, 廖康, 等. 杏树冠层内光合有效辐射(PAR)分布规律及结构优化初探[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(1):31-37.

[7] 马媛, 廖康, 安晓芹, 等. 不同栽植密度杏树冠层受光特性分析[J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(1):7-12.

[8] 王世伟, 潘存德, 张大海, 等. 新疆 11 个杏品种叶绿素荧光特征比较[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(4):637-643.

[9] 周瑞金, 扈惠灵, 苗卫东, 等. 次郎柿冠层受光特性分析[J]. 广东农业科学, 2011(7):69-71.

[10] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5):537-541.

[11] 孙协平, 宋凯, 王翠玲, 等. 苹果不同栽植密度和套袋对冠层光照环境参数的影响[J]. 果树学报, 2010, 27(5):673-677.

## Study on Light Change Rule in Apricot Orchards with Different Planting Densities

WANG Yu-rong, LIAO Kang, JIA Yang, LIU Man-man, LIAO Xiao-long, ZHAO Shi-rong, PENG Xiao-li

(Research Center for Xinjiang Characteristic Featured Fruit Tree, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052)

**Abstract:** With different planting density apricot orchards as research objects, by using 'HOBO' were portable-meteorological station and canopy analyzer with type of LAI-2200, the changes of PAR and LAI on different parts in apricot orchards with different planting densities were analyzed, in order to understand the light change rule in apricot orchards with different planting density, and laying a foundation for choosing the reasonable density for orchard construction, training and pruning. The results showed that PAR in one day of apricot orchards with different planting density all presented the change rule of 'low-high-low'; The PAR of inter-plant, inter-row and canopy center in the apricot orchards from big to small in turn was: inter-row > inter-plant > canopy center. The LAI value of apricot orchards which planting density of  $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ ,  $4\text{ m} \times 4\text{ m}$  and  $4\text{ m} \times 6\text{ m}$  were between 3.0~5.0, the LAI value of apricot orchards which planting density of  $4\text{ m} \times 8\text{ m}$  and  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  were less than 3.0. The change of LAI in apricot orchards with different density from big to small in turn was:  $2\text{ m} \times 4\text{ m} > 4\text{ m} \times 4\text{ m} > 4\text{ m} \times 6\text{ m} > 4\text{ m} \times 8\text{ m} > 8\text{ m} \times 8\text{ m}$ . In a conclusion the PAR and LAI value of different parts in apricot orchard were closely related to the planting density, and the PAR and LAI value of different parts in apricot orchard with  $4\text{ m} \times 6\text{ m}$  planting density was reasonable, apricot orchard with this density the light was well distributed, and the light transmittance was high.

**Key words:** apricot; planting density; PAR; LAI

## 未来十大农业新兴技术

近日,《农业行业新闻》(Farm Industry News)杂志中列出影响未来十年农业发展的新技术。预计这些前沿科技很快会成为农业实践中的常见技术。

1. 可穿戴电脑 你可以将电脑像衣服一样穿在身上,并且具备照相、视频、甚至上网重要功能,再也不用去口袋里掏智能手机。三星推出了一款腕式手机,用户可以直接从手腕处接电话,苹果也可能推出能戴在手腕上的智能产品。谷歌也不甘示弱,正在 Android 系统上开发 Android Wear 版本。

2. 下一代 ISOBUS ISO 11783 标准是为农场设备设计的一种通信协议,以确保车载电子系统可以与所有品牌的产品使用同一种通信语言。使用 ISOBUS 的认证设备可以符合这项标准,如果购买此设备,用户就可通过上面特定标签查询更多信息,使用最新功能。

3. 电动马达 5 年后,电动产品将无处不在,受到用户欢迎。安装在拖拉机或其它农用设备上的小型电动马达将控制更多功能,之前这些功能是由机械或液压控制,马达动力由电池和交流发电机提供。

4. 高压拖拉机 拖拉机是大田使用的一种功能强大的工具,具有牵引设备的作用,还能为设备提供液压或 PTO 能量。在欧洲,研究人员正在开发配备在拖拉机上的发电装置,以提供电能并开动其它设备。该种高压系统还处于早期概念阶段,可为农民

带来便利。

5. 农业传感器 传感器的兴起使农业生产更加精准和安全。现在许多灌溉公司正在开发较为熟知的土壤湿度传感器相关业务,但对农业传感器的探索仍处于初级阶段。

6. 具有预见性的下压系统 当土壤或周边地带发生变化时,下压系统可以保持农用设备完好。如果能提前感知到那些变化,那就可以在下轮播种或耕种前就施以适度的作用力。

7. 无人飞行系统 无人飞行系统可以拍摄清晰的图片,为投入决策提供帮助。农民可以通过它提供的数据辨别出高产量与低产量区域,以便识别引起差异的应激源。空中成像利用红外图像技术,可以帮助查找土地湿润区域、确定海拔高度和氮匮乏区域。不久,农民将能够放大并识别威胁农业产量的昆虫、杂草和锈斑。

8. 自动化系统 全天候工作的农业机器人,可以在农业劳动力资源有限的地区生产出更多的粮食,2015 年至少会有 6 家公司销售农业机器人。

9. 3-D 打印 快速成型工程可以在制造新产品中的特定部分时使用迭代技术,与老旧的传统方式相比,大大缩短时间。

10. 云技术 在与供应商之间传递信息、保留核心数据方面,开放的农业数据联盟正在为农民提供简便的方式。农民可以用基于云计算系统储存数据文件或同事共同创建数据。

(来源:中国农业技术网)