

不同种植方式和密度对玉米产量及光合特性的影响

张敬宇, 付健, 杨克军*, 王玉凤, 王智慧, 魏金鹏

(黑龙江八一农垦大学农学院/寒地作物种质改良与栽培重点实验室, 黑龙江大庆 163319)

摘要 [目的]研究不同种植方式和密度对玉米光合特性及产量的影响。[方法]选用玉米品种兴垦3和丰禾1为试验材料,采用3种行距配置和4个种植密度,研究不同种植方式和密度下玉米的光合速率、叶绿素含量、叶面积指数、干物质积累量及产量的变化。[结果]不同种植方式下,2个株型品种在R2种植方式下的光合速率、干物质积累、叶绿素含量、叶面积指数、产量等均高于其他处理;不同种植密度下,兴垦3和丰禾1在M1和M2密度下较好。[结论]不同株型玉米在合理的种植密度下采用R2种植方式能够显著改善玉米群体结构,减少株间竞争,提高群体光合性能,从而提高玉米的产量。在玉米种植上,种植方式R2优势更为突出。

关键词 玉米;密度;种植方式;光合特性;产量

中图分类号 S513.04 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)23-029-04

Effects of Different Plant Patterns and Planting Density on Yield and Photosynthetic Characteristics of Maize

ZHANG Jing-yu, FU Jian, YANG Ke-jun* et al (Agricultural College of Heilongjiang Bayi Agricultural University, Key Laboratory of Crop Germplasm Improvement and Cultivation in Cold Region, Daqing, Heilongjiang 163319)

Abstract [Objective] The effects of different plant patterns and planting density on photosynthetic characteristics and yield of maize were analyzed. [Method] The study used two maize varieties Xingken 3 and Fenghe 1 as the experimental materials, selected three row-spacing and four planting densities to research the photosynthetic rate, chlorophyll content, leaf area index, dry matter accumulation and change of output in different group structures. [Result] The result showed that the different planting patterns, 2 kinds of plant type varieties grown in the R2 of the photosynthetic rate, dry matter accumulation and chlorophyll content, leaf area index and yield were higher than other processing. Under different planting densities, Xingken3 and Fenghe1 were better than others under the M1 and M2 density. [Conclusion] The study showed different maize plant type under the reasonable planting density using R2 cropping pattern could significantly improve maize population structure, reduce the competition between strains, improved photosynthetic performance, and improve the production of maize. The advantage of R2 was more outstanding on maize.

Key words Maize; Density; Plant pattern; Photosynthetic characteristics; Yield

黑龙江省地处我国玉米带最北部,是我国最大的玉米产区,黑龙江省常规栽培密度为4.5万~6.0万株/hm²。通过提高栽培密度,可促进产量提升。大量研究结果表明单位面积玉米增产,应归因于种植密度的适当提高,而不是单株产量增加^[1]。因此在一定的生产条件基础上,适当增加种植密度是获取玉米高产的一条重要途径。但随种植密度增加,群体内光截获率加大,植株间相互遮阴,通风透光不良,中下层叶片光照条件下降,甚至达不到光补偿点,致使群体光合能力减弱^[2-4]。在高密度条件下,如何增加群体光能利用率,改善通风透光条件成为当前玉米栽培的关键^[5]。

光合作用是作物产量形成的主要机制^[6],群体光合作用也不再是单叶光合的累加,它较单叶光合更为复杂,与干物质生产更为密切。研究表明合理的种植方式可以改善冠层内的光照、温度、湿度和CO₂等微环境,对于建立良好的群体冠层结构具有重要意义^[7-9]。在单叶光合能力相同的情况下,叶面积大小和空间配置合理更能有效利用太阳辐射能,形成较多的同化产物^[10-12]。可见如何改善群体与个体的关系,建立良好的群体结构以提高光能利用率是玉米高产

栽培技术的首要问题。该试验选用黑龙江寒地应用广泛的垄上双行、传统小垄以及垄上三行(垄上三行在黑龙江地区的应用并不广泛,故关于垄上三行种植方式对玉米光合特性及产量影响的理论依据很少)的种植方式和种植密度对不同耐密型玉米品种光合特性和产量的影响进行研究,以期探明黑龙江寒地地区超高产春玉米最适的行距配置及种植密度,为黑龙江寒地地区建立高产、超高产的合理群体结构提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地土壤条件 试验田地力均匀,耕作层有机质含量21.60 g/kg,全氮160.65 mg/kg,速效磷9.74 mg/kg,速效钾35.6 mg/kg, pH 7.74。

1.2 试验设计 该试验在黑龙江八一农垦大学农学院试验基地进行,以2个不同株型玉米品种兴垦3(代号为X)、丰禾1(代号为F)为试材,采用裂区设计,栽培方式为主区,分设①垄上三行种植(R1):垄距为140 cm,垄上植株行距为40 cm,采用“Z”字型播种,两垄间边行距为60 cm;②垄上双行种植(R2):垄距为110 cm,垄上植株行距为50 cm,两垄间植株行距为60 cm;③传统小垄(R3):垄距为65 cm。密度为副区,设4个种植密度,分别为4.5万株/hm²(M1)、6.0万株/hm²(M2)、7.5万株/hm²(M3)、9.0万株/hm²(M4)。底肥施尿素247.50 kg/hm²,磷酸二铵247.50 kg/hm²,硫酸钾74.25 kg/hm²,于拔节期追施尿素250 kg/hm²,其他管理同当地大田生产。于拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、乳熟期(吐丝后20 d)和完熟期分别测定光合速率、叶面积指数、叶绿素含量和干物质积累量。

基金项目 国家科技支撑计划项目(2013BAD07B01-02);粮丰工程项目(2011BAD16B11-03);黑龙江省大学生创新创业项目。

作者简介 张敬宇(1989-),男,黑龙江大庆人,本科生,专业:农学。*通讯作者,教授,博士生导师,从事作物栽培与耕作方面的研究。

收稿日期 2015-06-24

1.3 测定指标及方法

- 1.3.1 产量。对不同种植方式和密度下玉米产量进行测定。
- 1.3.2 叶面积指数(LAI)。采用英国 Delta 公司生产的 Sunscan 冠层分析系统测定。
- 1.3.3 光合速率(P_n)。用美国产 Li-6400XT OPEN6.1 光合测定系统进行测定,每片叶读 3 次数,取平均值。
- 1.3.4 叶绿素含量。参照张宪政方法^[13]。
- 1.3.5 干物质积累量。105 ℃杀青 30 min,后在 80 ℃下烘至恒重称量,重复 3 次。

1.4 统计分析 采用 Excel 和 SPSS21.0 软件进行统计分析 & 差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 产量 不同种植方式对兴垦 3 产量的影响达到极显著水平($P<0.001$,表 1),对丰禾 1 产量的影响达到显著水平($P<0.05$)。不同种植方式间,R2 种植方式产量显著高于其他种植方式。2 个不同株型品种在不同种植密度间的产量均达到极显著水平($P<0.001$,表 1)。兴垦 3 在 M2 密度下产量显著高于其他种植密度,丰禾 1 在 M1 和 M2 密度下产量显著高于 M3 和 M4。丰禾 1 在 M1 密度条件下,产量明显好于兴垦 3。

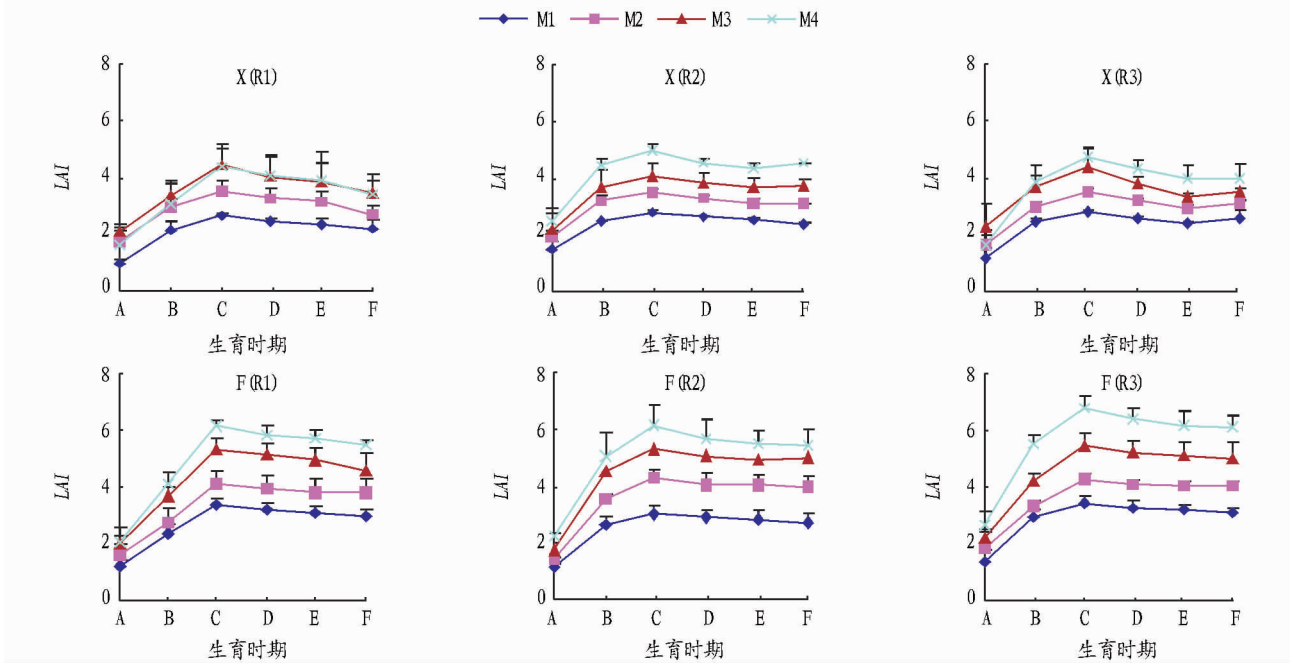
2.2 叶面积指数 不同种植密度间对 2 种玉米品种的 LAI 均达到极显著水平($P<0.001$),而不同种植方式对兴垦 3 和丰禾 1 拔节期—抽雄期 LAI 的影响达显著水平。由图 1 可见,2 个品种不同密度群体 LAI 总体变化基本一致,在生育期

育时期 LAI 都随密度的增加而升高。兴垦 3 在垄上双行种植方式下 9.0 万株/hm² 种植密度 LAI 最高,在 R2 种植方式下,兴垦 3 的 LAI 高出其他 2 种种植方式 22.7% (R1) 和 11.9% (R3);丰禾 1 在 R3 种植方式下 9.0 万株/hm² 种植密度 LAI 最高,分别高出其他 2 种种植方式 11.8% (R1) 和 14.5% (R2)。2 个品种在整个生育期内 M4 种植密度下 LAI 显著高于其他 3 种种植密度。R2 种植方式下兴垦 3 在整个生育期内的 LAI 均显著高于其他种植方式,而丰禾 1 在 R3 种植方式下 LAI 显著高于其他种植方式。叶面积指数增大有利于光合作用积累干物质,从而影响子粒产量。

表 1 种植方式和密度对玉米产量的影响 kg/hm²

试验因素		X	F
种植方式	R1	9.00b	9.85ab
	R2	9.96a	10.14a
	R3	9.15b	9.49b
密度	M1	9.34b	10.83a
	M2	10.43a	10.85a
	M3	9.06bc	9.18b
	M4	8.65c	8.45c
均方(ANOVA)			
种植方式($df=2$)		3.206***	1.300*
密度($df=3$)		5.248***	13.034***
种植方式×密度($df=6$)		NS	1.427***

注:同列不同字母表示差异达到 0.05 显著水平;*,**和***分别表示差异达 0.05、0.01 和 0.001 显著水平,NS 表示差异不显著。下同。



注:A、B、C、D、E、F 分别代表拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、乳熟期和完熟期。下同。

图 1 种植方式和密度对玉米叶面积指数的影响

2.3 光合速率 不同种植方式和种植密度对 2 个玉米品种光合速率的影响均达到极显著水平($P<0.001$,表 2)。其

中,兴垦 3 和丰禾 1 光合速率在 R1 和 R2 种植方式下显著高于 R3。不同种植密度间,兴垦 3 和丰禾 1 光合速率在 M1 和

M2 种植密度下显著高于 M3 和 M4,说明兴垦 3 和丰禾 1 在低密度下能更好地进行光合作用,增加干物质积累,这与 2 个品种产量的增加相一致。种植方式和种植密度互作对 2 个品种的影响均呈显著差异($P<0.05$,表 2)。2 个品种光合速率随着密度的增加均呈下降趋势。兴垦 3 和丰禾 1 的光合速率均在 7.5 万株/hm² 时明显下降,R2 种植方式下,其产量在 6.0 万株/hm² 时下降;丰禾 1 均在 6.0 万株/hm² 时开始明显下降。R2 种植方式下,玉米灌浆期能更好地延长叶片光合功能期,维持较高光合速率,从而进行光合作用积累干物质,达到提高产量的目的。

表 2 种植方式和密度对玉米光合速率的影响		$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$	
试验因素		X	F
种植方式	R1	23.87a	22.34a
	R2	24.05a	22.11a
	R3	21.50b	20.65b
密度	M1	24.01a	23.24a
	M2	24.13a	22.55a
	M3	22.56b	20.82b
	M4	21.86b	20.19b
均方 (ANOVA)			
种植方式 ($df=2$)		24.258***	10.050***
密度 ($df=3$)		11.133***	18.402***
种植方式×密度 ($df=6$)		2.237*	2.912*

2.4 叶绿素含量 由图 2 可知,随着生育期逐渐增加,叶绿素含量均在灌浆期到达最大。随密度增加,兴垦 3、丰禾 1 叶绿素含量均有先增加后减少的趋势。在灌浆期各密度下兴垦 3 叶绿素平均含量为 5.30(M1)、4.96(M2)、5.41(M3)和 5.03(M4)mg/g,完熟期叶绿素平均含量为 1.44(M1)、1.36(M2)、1.47(M3)和 1.44(M4)mg/g,完熟期相较灌浆期各密度下叶绿素含量分别下降了 72.83%(M1)、72.58%(M2)、72.83%(M3)和 71.37%(M4);丰禾 1 在灌浆期各密度下叶绿素平均含量为 4.91(M1)、4.90(M2)、4.85(M3)和 4.97(M4)mg/g,完熟期叶绿素平均含量为 1.55(M1)、1.41(M2)、1.65(M3)和 1.55(M4)mg/g,完熟期相较灌浆期各密度下叶绿素含量分别下降了 68.43%(M1)、71.22%(M2)、65.98%(M3)和 68.81%(M4)。随着密度增加,2 种株型品种生育后期可进行光合作用的绿色叶片由于株间通风透光不良而呈加速下降趋势,导致光合作用降低,而无法合成更多有机物供给植株干物质积累,兴垦 3 和丰禾 1 在 M1 和 M2 低密度下的叶绿素含量下降速率较高,其他各生育期叶绿素含量无显著差异。兴垦 3、丰禾 1 在 R2 种植方式下,灌浆期叶绿素含量比 R1 高出 4.6%、19.5%,比 R3 高出 1.5%、7.9%,表明 R2 种植方式在生育后期维持较高叶绿素含量,使植株功能叶片光合作用延长效果好于 R1 和 R3 种植方式。

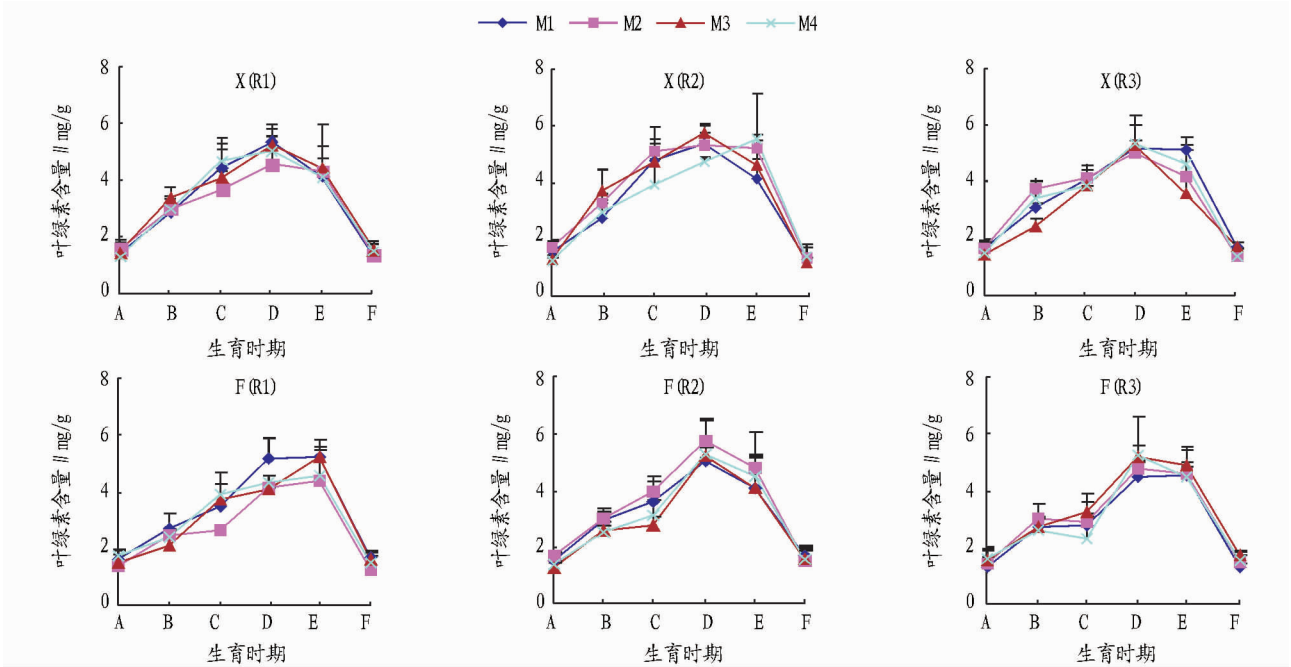


图 2 种植方式和密度对玉米植株叶绿素含量的影响

2.5 干物质积累量 不同种植方式和种植密度对 2 个品种的地上部干物质积累总量的差异均达到极显著水平($P<0.001$,表 3)。不同种植方式下,总干物质质量和花后干物质质量均表现为 R2 显著高于 R1 和 R3。其中兴垦 3 品种在 R3 种植方式干物质总量最低,丰禾 1 为 R1 最低。兴垦 3 在 R2 种植方式下花后干物质质量显著高于 R1 和 R3,R2 种植方式更

有利于花后干物质积累。丰禾 1 花后占总干物质质量比例表现为 R3 与 R1 显著差异,与 R2 差异不显著。兴垦 3 和丰禾 1 总干物质质量在 M2 和 M1 种植密度下显著高于其他种植密度。种植密度对于不同株型品种的干物质积累量影响显著,从而影响产量的提高。种植方式和种植密度间互作效应对干物质总量和花后干物质积累均表现显著差异。

表3 种植密度和方式对玉米干物质积累的影响

试验因素		总干物质量	花后干物质量	花后占总干物	总干物质量	花后干物质量	花后占总干物
		g/株	g/株	质量比例	g/株	g/株	质量比例
种植方式	R1	283.06b	170.82b	0.60b	286.05c	168.49c	0.59b
	R2	321.07a	210.28a	0.65a	364.00a	223.21a	0.61ab
	R3	268.93c	159.83b	0.59b	312.64b	193.74b	0.62a
密度	M1	302.24b	192.19b	0.63a	333.88a	208.11b	0.62a
	M2	320.08a	208.71a	0.65a	361.81b	232.75a	0.64a
	M3	276.15c	165.99c	0.60b	302.18c	175.02c	0.58b
	M4	265.60c	154.34c	0.58b	285.74d	164.71c	0.57b
均方 (ANOVA)	种植方式 ($df=2$)	8 728.0***	8 446.9***	0.014***	188 844.9***	9 000.7***	0.003*
	密度 ($df=3$)	5 514.1***	5 482.4***	0.010***	10 285.5***	8 739.8***	0.009***
	种植方式×密度 ($df=6$)	551.8*	457.7*	NS	376.4***	772.6***	0.002*

3 讨论

种植密度对群体光合作用效率和干物质积累的影响要大于其他栽培方式^[14],适当增加种植密度是玉米获得高产的主要途径之一,而种植方式可以协调高密度条件下群体内的光照、温度、湿度、养分供给等状况,提高作物群体光合作用并最终作用于产量^[15],但不同种植方式必须与相应的种植密度相结合,才能最终达到增产的目的。而不同株型品种对种植方式和密度的要求均不一样。有关玉米种植方式和种植密度的研究已有诸多报道^[16]。吕丽华等^[17]认为,对于不同株型品种,随着密度的增大,紧凑型玉米表现明显好于半紧凑型和平展型品种。齐延芳等^[18]研究表明不同品种玉米的光合速率随种植密度的增加而降低;叶面积指数(LAI)则随种植密度的增加而增加,而紧凑型品种单株干物质积累随着种植密度升高而增加,但是半紧凑型和平展型品种则在低密度下干物质积累量增大,表明高密度下,2个品种间遮阴严重,光照不足,导致光合速率下降,干物质积累减少。吴建明等^[19]研究认为密度对叶绿素含量的影响在玉米生育前期差异不显著,在后期叶绿素含量随着密度的增加而增加,但达到一定密度后则随密度的增加而降低。光合作用是产量形成的基础,玉米产量主要来源于花后叶片的光合同化物,所以增加总干物质积累量和花后干物质积累量,是提高产量的有效途径^[20]。

该研究发现,2个玉米品种在灌浆期的光合速率随着密度增加而下降,种植密度过大,导致下部叶片早衰,2个株型品种光合速率均开始下降,但是在适宜的种植密度下采用R2种植方式,有利于下部叶片光照条件的改善,延长了其群体叶片功能期。紧凑型品种由于叶片上挺,能将接受的光能合理分配到群体内各叶层,满足了光合作用对光能的需要。叶绿素含量多少是作物光合能力强弱的决定因素之一,叶绿素含量高,光合能力强,有利于干物质积累,2个品种的叶绿素含量随密度增加均有先增加后减少的趋势,这与前人研究结果相一致,R2种植方式下,2个株型品种叶绿素含量均大于其他2种植植方式。2个玉米品种中,兴垦3和丰禾1在不同种植密度下总干物质积累量和花后干物质积累量均表现为先迅速上升后缓慢降低,这与陈传永等^[21]研究结果一致。而总干物质积累量和花后干物质积累量的变化趋势同

产量的变化趋势相一致。

4 结论

该研究结果表明,不同种植方式和密度对2个玉米品种的LAI、光合速率、干物质积累量和产量的影响有极显著作用,但对叶绿素含量的影响不显著,这与前人的研究结果相似。不同密度间,兴垦3和丰禾1在4.5万、6.0万株/hm²种植密度下各项指标好于其他密度,说明半紧凑型和平展型玉米在低种植密度下,植株叶片间的遮蔽减少,改善了玉米田间的通风透光状况,提高了植株的光合利用率,个体的潜力得到了充分发挥,当密度增加时,群体与个体之间的矛盾加剧,植株间遮阴郁闭,导致光合作用下降,干物质积累降低。不同种植方式下,半紧凑型和平展型玉米在R2种植方式下,均与R1和R3种植方式差异显著,获得较高产量。说明2个株型玉米品种在各自适合的密度下,配以R2种植方式能够构建良好的群体结构,最终提高产量。

参考文献

[1] TOKATLIDIS I S, KOUTROUBAS S D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability[J]. Field Crops Research, 2004, 88(2/3): 103-114.

[2] 贾士芳,董树亭,王空军,等. 弱光胁迫对玉米产量及光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2456-2461.

[3] 李潮海,赵亚丽,杨国航,等. 遮光对不同基因型玉米光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1259-1264.

[4] 李潮海,赵亚丽,王群,等. 遮光对不同基因型玉米叶片衰老和产量的影响[J]. 玉米科学, 2005, 13(4): 70-73.

[5] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,等. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(7): 1226-1233.

[6] 郑丕尧. 作物生理学导论[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1992.

[7] 李猛,蔡宗兴,万明长,等. 不同种植方式对玉米产量的影响[J]. 贵州农业科学, 1999, 27(S1): 53-52.

[8] 武志海,张治安,陈展宇,等. 大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J]. 玉米科学, 2005, 13(4): 62-65.

[9] 杨克军,萧常亮,李明,等. 栽培方式与群体结构对玉米生长发育及产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(4): 9-12.

[10] 郭江,肖凯,郭新宇,等. 玉米冠层结构、光分布和光合作用研究综述[J]. 玉米科学, 2005, 13(2): 55-59.

[11] 董树亭,王空军,胡昌浩. 玉米品种更替过程中群体光合特性的演变[J]. 作物学报, 2000, 26(2): 200-204.

[12] 徐庆章,王庆成,牛玉贞,等. 玉米株型与群体光合作用的关系研究[J]. 作物学报, 1995, 21(4): 492-496.

[13] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社, 1992.

[14] LI M, LI W X. Regulation of fertilizer and density on sink and source traits and yield of maize[J]. Sci Agric Sin, 2004, 37(8): 1130-1137.

土壤,不但为植物提供养分,而且可提高土壤团粒结构,从而强化土壤在蓄肥保肥等方面的能力。纳米材料还能通过强化土壤养分离子的交换吸附,大大强化土壤生产力。纳米材料还可激发土壤微生物活性,对土壤中的 C/N 比进行优化调节,实现培肥土壤。

2.3 在叶面肥中的应用 众所周知,植物在生长过程中需要进行光合作用,因此强化光合作用也是提高植物产量的方法之一^[7]。目前,植物营养界提倡通过增加二氧化碳的方式促进植物加快光合作用,出现了如碳酸水、二氧化碳发生器等的应用。此外,还有利用光触媒、暗触媒将其喷施在植物叶面上的方式,其目的就是提升光的利用率,促进光合作用。这种方式即使是在日照并不充足的情况下,仍然具有很好的光合作用促进效果。

光触媒、暗触媒这种纳米材料的应用不但能促进植物生长,提升光合速率,而且可改善叶片颜色。随着光合作用的活跃,植物营养成分的运输也更流畅,其根部对土壤中营养成分的吸收能力也得到大幅强化,并且可将养分充分输送到植物的各个部分,使得叶片更厚、更绿^[8]。此外,在这些纳米材料的作用下,也可有效节约化肥、农药的应用。经纳米技术处理后,植物中的硝酸还原酶活性也得到大幅提升,而硝酸还原酶活性是决定植物吸收水肥效果的关键,因此也提升了肥料利用率,实现化肥的节约^[9]。活跃的光合作用促进了植物新陈代谢,进而提升了植物的免疫能力,降低了发病率,进而可在节约化肥、农药的条件下实现增产。光合作用的强化能够促进干物质的积累,提高果实品质、糖度以及各类营养物质的含量。

3 展望

经过长时间的发展,纳米技术逐渐被应用到多个领域之中。为了加强自身对纳米技术的了解,必须不断加强研究,深入了解纳米技术的应用效果,充分掌握纳米知识,实现我国纳米技术的跨越式进步。由于纳米技术的特殊性与重要性,国际上许多国家都在进行研究,而不同方向、领域、材料则构成非常分散的研究结构^[10]。由于水体与土壤环境的差别较大,纳米材料也会产生不同表现的生物效应,在接下来

的研究中将重点进行培养基质的改进与优化研究。在植物开始培养后,培养溶液中使用的纳米材料也会发生性质上的变化,所以在后续的研究过程中,根系微环境研究将继续深入,如模拟自然土壤与水体环境,了解 pH、离子强度、有机质含量对土壤与植物营养领域带来的影响。使用荧光标记方法确定纳米颗粒在植物中的使用效果,通过 X 射线显微镜了解纳米材料在植物中的分布情况,并且探索纳米材料进入植物的最佳时期。

在土壤与植物营养领域中,纳米材料拥有良好的应用前景,尤其是在抗菌、改善土壤环境方面,效果要明显优于传统方法。虽然我国纳米技术研究时间较短,而且农业领域的应用成果较少,但是在作物增产方面,研究水平较高,所以可以借鉴其技术与方法,使土壤与植物营养领域的纳米技术得到有效发展。纳米材料拥有良好的磁性特征,可以吸附部分离子或通过反应形成新物质。将纳米抗菌能力与改善土壤环境的能力进行结合,制作出胶结缓释肥料。这是肥料领域的跨越式发展。今后,将不断加强土壤与植物营养方面的研究,为我国农业发展提供有力的支持。

参考文献

- [1] 崔海信,姜建芳,刘琪. 论植物营养智能化递释系统与精准施肥[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):494-499.
- [2] 张建峰. 植物营养功能性材料制备及其应用研究[D]. 雅安:四川农业大学,2012.
- [3] 王佳奇. 纳米碳对玉米生长及养分吸收的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013.
- [4] 王萌,陈世宝,李娜,等. 纳米材料在污染土壤修复及污水净化中应用前景探讨[J]. 中国生态农业学报,2010(3):14-15.
- [5] 王佳奇,李淑敏,周宝库. 纳米碳对玉米种子萌发及根系形态的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(18):62-66.
- [6] 王赞峰. 植物材料和水分管理对稻田土壤 pH 和碳氮矿化的影响[D]. 杭州:浙江大学,2012.
- [7] 潘攀. 典型缓/控释肥料包膜材料的土壤生态影响研究[D]. 雅安:四川农业大学,2013.
- [8] 葛文. 山东烟台地区土壤地球化学环境与优质苹果生产的适应性评价[D]. 武汉:中国地质大学,2013.
- [9] 张建峰. 植物营养功能性材料制备及其应用研究[D]. 雅安:四川农业大学,2012.
- [10] 徐同凯. 杭州不同功能区绿地土壤特征及其营养元素与植物的关系[D]. 杭州:杭州师范大学,2013.

(上接第 32 页)

- [15] 王敬亚,齐华,梁熠,等. 种植方式对春玉米光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. 玉米科学,2009,17(5):113-115,120.
- [16] 吕丽华,王璞,易镇邪,等. 密度对夏玉米品种光合特性和产量性状的影响[J]. 玉米科学,2007,15(2):79-81.
- [17] 吕丽华,陶洪斌,王璞,等. 种植密度对夏玉米碳氮代谢和氮利用率的影响[J]. 作物学报,2008,34(4):718-723.
- [18] 齐延芳,许方佐,周柱华,等. 种植密度对玉米鲁原单 22 光合作用的影

- 响[J]. 核农学报,2004,18(1):14-17.
- [19] 吴建明,梁和,陆国盈,等. 密度和肥料对高油玉米生理性状的影响[J]. 西南农业学报,2005,18(4):392-396.
- [20] LV L H, WANG P, LU L Q. The relationship of source-sink for yield form in summer maize under different canopy structure[J]. J Maize Sci, 2008, 16(4):66-71.
- [21] 陈传永. 东北春玉米高产群体结构与功能特点及产量性能定量分析[D]. 北京:中国农业科学院,2010.