

种植密度与有机肥互作对玉米籽粒产量和经济效益的影响

曹永刚¹, 吕剑英², 万旭花¹

(1. 平凉市农业技术推广站, 甘肃 平凉 744000; 2. 泾川县
农业技术推广中心, 甘肃 泾川 744300)

摘要: 为了探究平凉地区玉米产量提升最适种植密度和有机肥施用量, 以种植密度和有机肥施用量为参试因子, 以不同种植密度(67 500、75 000、82 500、90 000、97 500 株/hm²)为主区处理、不同有机肥施用量(67 500、82 500、97 500 kg/hm²)为副区处理, 设置二因素裂区试验, 以探究种植密度与有机肥互作效应对玉米籽粒产量、产量构成因素和经济效益的影响。结果表明, 种植密度与有机肥互作主要通过增加穗数提高玉米籽粒产量, 产量随着种植密度和有机肥配施用量的增加而增加, 其中种植密度 97 500 株/hm²、施有机肥 97 500 kg/hm² 的处理籽粒产量最高, 为 17 998.0 kg/hm²; 经济效益最好, 总收益和净收益最大, 为 4.68 万元/hm² 和 1.24 万元/hm²。

关键词: 玉米; 种植密度; 有机肥; 产量; 经济效益

中图分类号: S513; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2025)07-0676-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.07.014

Effects of Interaction Between Planting Density and Organic Fertilizer on Maize Grain Yield and Economic Benefit

CAO Yonggang¹, LÜ Jianying², WAN Xuhua¹

(1. Pingliang Agricultural Technology Extension Station, Pingliang Gansu 744000, China; 2. Jingchuan Agricultural Technology Extension Centre, Jingchuan Gansu 744300, China)

Abstract: In order to determine the optimal planting density and organic fertilizer application rate for increasing maize yield in Pingliang region, a split-plot experiment was designed using planting density and organic fertilizer rate as experimental factors. Five planting densities (67 500, 75 000, 82 500, 90 000, 97 500 plants/ha) were assigned to main plots, and three organic fertilizer rates (67 500, 82 500, 97 500 kg/ha) to subplots. The interaction effects of these two factors on maize grain yield, yield components, and economic benefit were investigated. Results showed that the interaction mainly improved maize grain yield by increasing ear number. Yield increased with higher planting density and organic fertilizer input. The highest grain yield, 17 998.0 kg/ha was obtained under the combination of 97 500 plants/ha planting density and 97 500 kg/ha organic fertilizer rate. This treatment also resulted in the highest economic return, with total and net profits reaching 46 800 and 12 400 Yuan/ha, respectively.

Key words: Maize; Planting density; Organic fertilizer; Yield; Economic benefit

玉米作为我国第一大粮食作物, 在保障国家粮食安全中占有重要地位^[1]。平凉市属于典型的雨养旱作区, 随着全膜双垄沟播技术全面推广, 玉米面积和产量持续稳定增长, 稳居三大粮食作物之首。2024 年平凉市玉米种植面积 10.6 万 hm², 占粮食作物种植面积的 40% 以上, 全膜玉米占玉米种植总面积的 90% 以上。随着玉米规模经营主

体大面积单产提升项目的深入实施, 合理密植和科学施肥是平凉市单产提升的关键技术^[2-3]。然而在实际生产过程中, 盲目增加种植密度、过量投入化肥不仅没有带来增产效果, 反而造成肥料浪费, 土壤地力下降^[4-5]。研究表明, 适宜的种植密度能够改善作物光照, 调节作物群体结构, 进而改善作物品质和提高产量^[6-7]。随着“双减”

收稿日期: 2024-11-27; 修订日期: 2025-05-22

基金项目: 平凉市科技计划项目(PL-STK-2022A-070)。

作者简介: 曹永刚(1997—), 男, 甘肃陇西人, 助理农艺师, 硕士, 主要从事作物栽培学与耕作学研究工作。Email: cyg9024@126.com。

通信作者: 万旭花(1988—), 女, 甘肃平凉人, 农艺师, 硕士, 主要从事作物栽培和蔬菜栽培研究工作。Email: wanxh8180@163.com。

政策的实施,减少化学氮肥投入,优化调整施肥方式势在必行。研究发现,施用有机肥可提升土壤有机质含量,降低土壤容重,提高土壤孔隙度,促进土壤大团聚体的形成,抑制水分蒸发,增强土壤持水性能,促进作物产量提升^[8-10]。有机肥的施用不仅能保证高密度群体下养分的持续供应,而且能优化土壤环境,强化植株根系生长和功能,尤其是干旱年份有机肥能促进玉米根系对土壤水分的调节作用,有效缓解干旱发生^[8,11-12]。因此,我们通过研究密度和有机肥对玉米籽粒产量的影响,探索适宜本地玉米高产栽培适宜的种植密度和有机肥施用量,为平凉市玉米大面积单产提升提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在泾川县农业技术推广中心的高丰良种场。该区域属塬面坳心地,土壤类型为梯田黄绵土,地势平坦,中等肥力。海拔 1 327.14 m,地理位置东经 107° 16'3"、北纬 35° 25' 23",年均气温 10.5 ℃,2023 年全年降水量 727.6 mm,多年平均降水量 550 mm,无霜期 183 d,10 月 17 日早霜,4 月 17 日晚霜。耕层土壤含有机质 19.36 g/kg、全氮 0.97 g/kg、碱解氮 56.0 mg/kg、有效磷 9.2 mg/kg、速效钾 167.0 mg/kg,pH 8.36。前茬作物玉米。

1.2 试验材料

供试有机肥为绿禽牌农家纯鸡粪,由泾川县绿农农家肥有限责任公司生产;复合肥为金大地三元复合肥(N-P₂O₅-K₂O 为 18-18-18),由金正大生态工程集团股份有限公司生产;尿素为普通尿素(含 N 46%),由宁夏和宁化学有限公司生产。地膜为幅宽 1.2 m、厚 0.01 mm 的白色地膜,由兰州宏达塑业有限公司生产。指示玉米品种为先玉 1483,由平凉市农业技术推广站提供。

1.3 试验设计

试验采用二因素裂区设计,主区处理为种植密度(D),设 5 个水平,分别为 D1 67 500 株/hm²、D2 75 000 株/hm²、D3 82 500 株/hm²、D4 90 000 株/hm²、D5 97 500 株/hm²。副区处理为有机肥施肥量(F),设 3 个水平,分别为 F1 67 500 kg/hm²、F2 82 500 kg/hm²、F3 97 500 kg/hm²,共设 15 个处理。具体处理组合见表 1。试验随机排列,小区面积

20 m²,3 次重复。重复间设 1.2 m 走道,试验田四周设 1.2 m 的走道及 1.2 m 以上的保护行。采用全膜双垄沟播种植模式,一次性施入基肥,各小区均基施金大地三元复合肥 750 kg/hm² 和尿素 225 kg/hm²;有机肥按试验要求施入。起垄覆膜前喷施 82%乙·噻·滴辛酯乳油 2 100~2 700 mL/hm² 兑水 450 L 进行土壤封闭除草。2023 年 3 月 14 日起垄覆膜机顶凌覆膜,大小垄宽分别为 70、40 cm,4 月 28 日播种于垄沟内。9 月 29 日收获。在玉米大喇叭口期每株追施尿素 75 kg/hm²,其他田间管理同大田。

表 1 玉米不同种植密度和有机肥施用量试验设计

处理	种植密度 /(株/hm ²)	有机肥施肥量 /(kg/hm ²)
D1F1	67 500	67 500
D1F2	67 500	82 500
D1F3	67 500	97 500
D2F1	75 000	67 500
D2F2	75 000	82 500
D2F3	75 000	97 500
D3F1	82 500	67 500
D3F2	82 500	82 500
D3F3	82 500	97 500
D4F1	90 000	67 500
D4F2	90 000	82 500
D4F3	90 000	97 500
D5F1	97 500	67 500
D5F2	97 500	82 500
D5F3	97 500	97 500

1.4 测定指标和方法

玉米成熟期按照小区单打单收,测定玉米籽粒产量,并统计产量构成要素,按照含水量 140 g/kg 计算籽粒产量^[5]。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2021 软件对试验数据进行收集和初步整理,采用 SPSS 26.0 软件进行方差分析,Duncan 新复极差法分析显著性,采用 Origin 21.0 软件进行图片制作。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米产量构成要素的影响

从表 2 可以看出,不同种植密度对穗数和穗行数都有显著影响,不同有机肥施肥量对穗数、穗行数、行粒数均无显著影响,而种植密度与有机肥互作对穗行数影响显著。穗数随着种植密度的增加而增加,在 D5 种植密度水平下,穗数均在 89 000 穗/hm² 以上,且以 D5F2 处理穗数最高,为

表 2 不同处理下玉米产量的构成因子

处理	穗数 /(穗/hm ²)	穗行数 /行	行粒数 /粒	千粒重 /g
D1F1	68 370 e	16.43 a	37.30 a	408.70 a
D1F2	71 370 de	16.43 a	40.10 a	410.90 a
D1F3	71 700 cde	15.97 ab	38.20 a	402.80 a
D2F1	76 200 cd	16.20 ab	37.63 a	416.20 a
D2F2	75 375 bcd	15.77 abc	38.87 a	412.10 a
D2F3	78 705 b	15.33 abcd	38.30 a	412.23 a
D3F1	76 545 bcd	15.53 abc	38.77 a	412.40 a
D3F2	76 545 bcd	15.10 bcd	40.10 a	406.53 a
D3F3	78 045 bc	16.00 ab	39.17 a	414.37 a
D4F1	86 550 a	14.67 cd	34.97 a	404.93 a
D4F2	87 210 a	14.20 d	37.10 a	406.73 a
D4F3	86 550 a	16.17 ab	36.30 a	419.27 a
D5F1	89 040 a	15.77 abc	35.90 a	407.17 a
D5F2	98 880 a	15.97 ab	36.63 a	411.00 a
D5F3	91 875 a	14.67 cd	38.20 a	414.27 a
显著性(P值)				
密度(D)	0.000	0.006	NS	NS
有机肥(F)	NS	NS	NS	NS
密度×有机肥 (D×F)	NS	0.007	NS	NS

①NS 表示各处理无显著差异, 下同。

98 880 穗/hm²; 其次是 D5F3 处理, 为 91 875 穗/hm²。穗行数随着种植密度的增加先减小后增加, 在 D1 种植密度水平下, 穗行数较多, 其中以 D1F1、D1F2 处理穗行数最多, 均为 16.43 行, D2、D3、D5、D4 种植密度水平下的穗行数分别较 D1 种植密度水平减少了 3.1%、4.5%、5.0%、7.8%。种植密度和有机肥施肥量对行粒数和千粒重的影响不显著, 行粒数以 D3F2 处理、D1F2 处理行粒数最高, 均为 40.1 粒; 其次是 D3F3 处理, 为 39.17 粒; 其余处理为 34.97~38.87 粒。千粒重以 D4F3 处理最高, 为 419.27 g; D2F1 处理次之, 为 416.20 g; D3F3 处理排第 3, 为 414.37 g; 其余处理为 402.80~414.27 g。种植密度和有机肥互作下, 穗行数表现为正相关关系, 且随着种植密度的增加表现越明显。由此可以得出, 种植密度是影响穗数和穗行数的关键因素。

2.2 不同种植密度和有机肥施用量对玉米籽粒产量的影响

从图 1 可以看出, 不同种植密度和有机肥配施对玉米籽粒产量影响显著。不同有机肥施用量下, 随着玉米种植密度的增加籽粒产量随之增加。D5 种植密度水平下, 玉米籽粒平均产量达 17 043.8

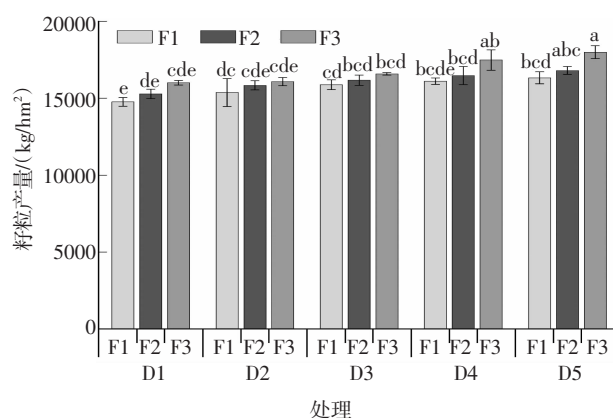


图 1 不同处理下玉米的籽粒产量

kg/hm², D1、D2、D3、D4 种植密度水平下籽粒产量较 D5 种植密度水平分别减少了 1 816.5、1 278.3、833.0、353.7 kg/hm², 分别减产 10.7%、7.5%、4.9%、2.1%。相同种植密度水平下, 随着有机肥施肥量的增加籽粒产量增大。其中玉米籽粒产量以 D5F3 处理的最高, 为 17 998.0 kg/hm²; 其次是 D4F3 处理, 为 17 487.0 kg/hm²; D5F2 处理排第 3 位, 为 16 801.5 kg/hm²; 其余处理为 14 765.0~16 587.0 kg/hm²。由此可知, 种植密度 97 500 株/hm² 配施有机肥 97 500 kg/hm² 对玉米产量有显著提升作用。

2.3 不同处理对玉米经济效益的影响

从表 3 可以看出, 种植密度、有机肥施入量对玉米生产效益影响显著, 种植密度对玉米总收益、净收益影响极显著 ($P < 0.001$), 随着种植密度的增加, 玉米的经济效益随之增加, 产投比也随之增大, 有机肥施入量与产投比呈正相关。种植密度与有机肥施入量互作对玉米经济效益和产投比均无显著影响。不同施肥水平下, 以 D5 种植密度水平玉米总收益、净收益均最高, 分别为 4.43 万元/hm² 和 1.19 万元/hm²; 产投比也最大, 为 1.37。与 D1、D2、D3、D4 种植密度水平相比, 总收益分别增收 11.0%、8.0%、5.2%、2.1%, 净收益分别增收 45.1%、30.8%、17.8%、6.3%, 产投比分别提高 8.7%、6.2%、3.8%、1.5%。同一种植密度下, 玉米生产总收益随着有机肥施入量的增加而增大, F3 有机肥施入水平下, 玉米生产总收益达 4.38 万元/hm², 较 F1、F2 有机肥施入水平分别增加 0.30 万元/hm² 和 0.19 万元/hm²; 产投比随着有机肥施入量的增加而降低, 产投比为 1.28, 较

表 3 不同处理下玉米的经济效益^①

处理	成本投入/(万元/hm ²)			总收益 /(万元/hm ²)	净收益 /(万元/hm ²)	产投比
	农资投入	其他投入	总成本			
D1F1	1.47	1.50	2.97	3.84 e	0.87 bcd	1.30 ab
D1F2	1.67	1.50	3.17	3.97 de	0.80 cd	1.25 c
D1F3	1.87	1.50	3.37	4.16 cde	0.79 d	1.23 d
D2F1	1.49	1.50	2.99	4.00 de	1.01 abcd	1.34 abcd
D2F2	1.69	1.50	3.19	4.12 cde	0.93 abcd	1.29 abcd
D2F3	1.89	1.50	3.39	4.18 cde	0.79 d	1.23 d
D3F1	1.50	1.50	3.00	4.13 cd	1.12 abcd	1.37 ab
D3F2	1.70	1.50	3.20	4.20 bed	1.00 abcd	1.31 abcd
D3F3	1.90	1.50	3.40	4.31 bed	0.91 abcd	1.27 bed
D4F1	1.52	1.50	3.02	4.19 bcde	1.17 abc	1.39 a
D4F2	1.72	1.50	3.22	4.28 bed	1.06 abcd	1.33 abc
D4F3	1.92	1.50	3.42	4.55 ab	1.12 abcd	1.33 abc
D5F1	1.54	1.50	3.04	4.25 bed	1.21 ab	1.40 a
D5F2	1.74	1.50	3.24	4.37 abc	1.13 abcd	1.35 abc
D5F3	1.94	1.50	3.44	4.68 a	1.24 a	1.36 abc
显著性(P 值)						
密度(D)				0.000	0.001	0.004
有机肥(F)				0.001	NS	0.007
密度×有机肥(D×F)				NS	NS	NS

① 农资投入为有机肥、复合肥、化肥尿素、地膜、种子投入, 其中地膜及种子费用 1 500 元/hm²; 其他投入为人工、地租等, 为 1.50 万元/hm²。玉米价格为 2.6 元/kg。

F1、F2 有机肥施入水平分别降低了 5.9%、2.3%。综上所述, D5F3 处理玉米生产总收益和净收益均最高, 分别为 4.68 万元/hm² 和 1.24 万元/hm², 产投比也较大, 为 1.36。

3 讨论与结论

增密是作物增产高产的关键途径, 刘涵等^[13]研究发现, 增密不仅能够提高玉米籽粒产量, 而且能够改善玉米群体结构和促进干物质累积。柴尔政等^[14]研究发现, 玉米株高、茎粗与种植密度二次函数关系、其行粒数、穗长、穗粗、穗行数均随着种植密度的增加而呈现先增大后减少趋势。本研究发现, 增加种植密度主要改变了作物群体结构, 种植密度对产量的影响主要是提高了单位面积穗数, 群体数量的增加抵消了因密度增加引起穗行数减少的负效应, 对于籽粒产量有显著提升作用, 研究结果与范虹等^[4]、张金丹等^[15]一致。陈凤林等^[5]研究表明, 适宜控制氮肥施用量及配施有机肥, 能够显著提高作物籽粒产量和地上部生物量, 增产 9.8%~25.2%。玉米中、高密度较当地平均种植密度增产显著的前提是要配施有机肥, 一是培肥地力, 保证高密度群体下每一个体后期干物质的累积与转运^[16-17]; 二是促进玉米

根系对土壤水分的调节, 有效缓解旱作区干旱发生, 促进稳产增产^[7-8, 18]。配施有机肥 97 500 kg/hm² 玉米籽粒产量表现最高, 研究结果与陈梦茹等^[8]、赵吉霞等一致^[11]。本研究表明, 种植密度 97 500 株/hm²、有机肥 97 500 kg/hm² 时玉米产量最高, 为 17 988.0 kg/hm², 较当地平均种植密度 67 500 株/hm² 增产 1 816.5 kg/hm²。究其原因可能是增加种植密度增加了玉米群体数量, 抵消密度增加带来的穗行数减少的负效应, 配施有机肥促进了玉米根系对土壤养分和水分的调节, 保证了玉米生育后期对于养分的吸收利用及干物质的累积和转运, 二者协同互作进一步对籽粒产量的提升有显著促进作用。

在实际的农业生产中, 增施化肥能够显著提高作物籽粒产量, 但是也提高了生产成本, 降低了经济效益, 同时过量的增施化肥也造成了资源浪费严重^[19-20]。适当增施有机肥, 适当控制氮肥投入, 协同密植效益能够降低农业生产成本^[3, 12, 21]。本研究发现, 密度的增加显著提高了玉米生产的总收益、净收益和产投比, 种植密度 97 500 株/hm² 下, 玉米生产净收益(1.19 万元/hm²)和籽粒产量(17 043.8 kg/hm²)均最高, 研究结果与刘偲琪

等^[22]一致。有机无机配施能提高作物籽粒产量和经济效益,适宜的有机肥搭配控量氮肥施入,作物籽粒产量、净收益和产投比达最大,这与本研究有机肥施用量 97 500 kg/hm² 处理下,籽粒产量、净收益、产投比达到最大结果一致^[23]。种植密度与有机肥互作进一步提高玉米种植经济效益,种植密度 97 500 株/hm²、有机肥 97 500 kg/hm² 处理种植效益最高,该处理的玉米种植净收益最高,为 1.24 万元/hm²。究其原因可能是配施有机肥协同增密提高了玉米籽粒产量,进而提高了总收益,有机无机配施降低了玉米生产成本。因此,增密协同配施有机肥不仅能够提高玉米籽粒产量,而且提高了经济收益。

综上所述,增加玉米种植密度和增加有机肥施用量对玉米籽粒产量提升和生产净收益有显著提升作用,因此,在平凉市年均降水量 550 mm 左右的区域,玉米种植密度可增加到 97 500 株/hm²、有机肥施肥量可增加至 97 500 kg/hm² 左右时,玉米籽粒产量可达 17 998.0 kg/hm²,生产净收益可达 1.24 万元/hm²。不仅显著增加经济效益,而且有机肥的大量投入促进了农业绿色可持续发展。

参考文献:

- [1] 李少昆,赵久然,董树亭,等.中国玉米栽培研究进展与展望[J].中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
- [2] 冯尚宗,王世伟,彭美祥,等.种植密度和施氮量对高产夏玉米产量、干物质积累及氮素利用效率的影响[J].河北农业科学,2015,19(3):18-26.
- [3] 韩德鹏,王馨悦,郑伟,等.减肥增密对三熟制直播油菜生长和产量的影响[J].江苏农业科学,2024,52(11):88-94.
- [4] 范虹,殷文,胡发龙,等.绿洲灌区密植对氮肥减量玉米产量的补偿潜力[J].中国农业科学,2024,57(9):1709-1721.
- [5] 陈凤林,马祥爱,郝秀海,等.化肥减量配施有机肥对玉米产量、养分吸收及氮素利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2024,43(9):49-56.
- [6] 郭晓峰,史堂,施斐,等.种植密度对不同饲用玉米产量与品质的影响[J].寒旱农业科学,2025,4(1):67-72.
- [7] 赵晖,李尚中,樊廷录,等.种植密度与施氮量对旱地地膜玉米产量、水分利用效率和品质的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(5):169-177.
- [8] 陈梦茹,邢英英,解云霞,等.有机肥等氮替代化肥对春玉米生长、产量和水肥利用效率的影响[J].水土保持学报,2024,38(3):369-381.
- [9] 王友生,雷艳红,雍山玉,等.不同种植密度下有机肥替代氮肥对陇中旱作区马铃薯的影响[J].寒旱农业科学,2024,3(12):1124-1129.
- [10] 陆海玲.有机肥配施盐碱土壤改良剂对盐碱地土壤性状及甜菜产量和品质的影响[J].寒旱农业科学,2024,3(10):944-948.
- [11] 赵吉霞,禹妍彤,周芸,等.有机肥等氮替代化肥对玉米产量和氮素吸收利用效率的影响[J].水土保持研究,2022,29(5):374-381.
- [12] 焦金龙,李友强,吴玲,等.化肥减量配施有机肥对青贮玉米产量、营养品质及土壤养分的影响[J].华北农学报,2022,37(3):128-135.
- [13] 刘涵,丁迪,汪江涛,等.玉米穗型与种植密度对玉米花生间作种间竞争的协调效应[J].中国农业科学,2024,57(19):3758-3769.
- [14] 柴尔政,马佳丽,张红娟,等.不同种植密度对引大灌区青贮玉米产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2024,43(9):33-38.
- [15] 张金丹,范虹,杜进勇,等.小麦玉米同步增密有利于优化种间关系而提高间作产量[J].作物学报,2021,47(12):2481-2489.
- [16] 王小锋,梁洞理,李智远,等.地膜覆盖谷子干物质分配和转运对种植密度的响应[J].分子植物育种,2023,21(23):7959-7966.
- [17] 魏廷邦,柴强,王伟民,等.水氮耦合及种植密度对绿洲灌区玉米光合作用和干物质积累特征的调控效应[J].中国农业科学,2019,52(3):428-444.
- [18] 周勋勋,程永豪,于雪娇,等.烟沫有机肥部分替代化肥对玉米生长和根系分泌物及土壤微生物群落结构的影响[J].土壤通报,2024,55(5):1440-1452.
- [19] 周艳,夏祥礼.玉米秸秆不同处理方式对肉牛生长性能、养分表观消化率及经济效益的影响[J].中国饲料,2024(18):129-132.
- [20] 李波,陈喜昌,朴琳,等.一次性施氮对寒地春玉米生长发育和子粒品质的调控及生产效益分析[J].玉米科学,2022,30(4):121-129.
- [21] 王晓媛,孙娇.有机肥替代氮肥对银北灌区盐化灌淤土理化性质及玉米生长的影响[J].寒旱农业科学,2024,3(1):51-56.
- [22] 刘偲琪,何忠萍,包璐玮,等.河套灌区玉米适宜种植密度及其高产栽培品种研究[J].北方农业学报,2024,52(3):29-37.
- [23] PINGAN X, YAN Z, HUA Z, et al. Optimal chemical fertilizer application rate accorded with local economic and ecological benefits[J]. The Journal of Applied Ecology, 2006, 17(11): 2059-2063.