

## Katı ve Sıvı Taşıyıcı Kullanılarak Bitki Gelişmesini Teşvik Edici Bakteri Esaslı Formülasyon Geliştirilmesi ve Çay Gelişme Parametreleri ve Enzim Aktivitesine Etkisinin Değerlendirilmesi

\*Ramazan ÇAKMAKÇI<sup>1</sup> Yaşar ERTÜRK<sup>2</sup> Ali ATASEVER<sup>3</sup> Recep KOTAN<sup>4</sup>  
Mustafa ERAT<sup>5</sup> Atefeh VARMAZYARI<sup>1</sup> Kubilay TÜRKYILMAZ<sup>6</sup>  
Remzi SEKBAN<sup>6</sup> Ayhan HAZNEDAR<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum,

<sup>2</sup>Bozok Üniversitesi, Tarım ve Doğa Bilimleri Fak., Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat

<sup>3</sup>Atatürk Üniversitesi, İspir Hamza Polat MYO, Erzurum

<sup>4</sup>Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fak., Bitki Koruma Bölümü, Erzurum

<sup>5</sup>Atatürk Üniversitesi, Erzurum MYO, Teknik Programlar Bölümü, Kimya Programı, Erzurum

<sup>6</sup>Atatürk Çay ve Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Rize

\*Sorumlu yazar e-posta (Corresponding author e-mail): rcakmak@atauni.edu.tr

### Öz

Bu araştırma, mineral gübre, bir ticari biyolojik gübre ve organik ve inorganik kaynaklı katı (çay artığı, torf, perlit, leonardit, zeolite ve vermikülit) ve sıvı taşıyıcılarda geliştirilen azot fikseri ve fosfat çözücü mikroorganizma esaslı beş farklı biyolojik gübre formülasyonunun (F1: *Bacillus atrophaeus* 55/6+*Bacillus megaterium* 63/1+*Pseudomonas fluorescens* 9/7; F2: *Bacillus simplex* 6/4+*Bacillus subtilis* B2/8+*Pseudomonas putida* 3/10; F3: *Bacillus pumilus* 35/6+*Paenibacillus polymyxa* 2/2+*Pseudomonas* sp.27/3; F4: *Bacillus pumilus* RC19+*Paenibacillus polymyxa* RC35+*Pseudomonas putida* 29/2; F5: *Bacillus lentus* 29/6+*Paenibacillus polymyxa* RC14+*Pseudomonas putida* RC06), çay gelişmesi ve enzim aktivitesi üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla Rize'de doğal koşullar altında iki yıl süreyle yürütülmüştür. Araştırma, yedi taşıyıcı, sekiz uygulama ve her bir tekrerde dört fidan olmak üzere beş tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre düzenlenmiştir. Bakteriyel formülasyon etkinliği aşıl原因an strain, taşıyıcı materyal ve ele alınan parametrelere göre değişmiştir. Biyolojik gübre formülasyonu Hayrat Türk çay klonunda gövde gelişmesi, bitki yüksekliği, gövde çapı, yaprak verimi, klorofil ve antioksidan içeriği, yaprak alanı, oksidatif, katalitik, hidrolitik ve antioksidan enzim aktivitesi dahil gelişmeyi teşvik etmiştir. Araştırmada test edilen bakteri kombinasyonlarının bitki gelişmesini teşvik ettiği, kimyasal gübre gereksinimini azaltabildiği, organik ve sürdürülebilir tarım uygulamalarında biyolojik gübre olarak kullanılabilecek potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çay (*Camellia sinensis* L.), bakteri, katı ve sıvı taşıyıcı, biyolojik gübre

## Development of Plant Growth-Promoting Bacteria Based Bio-formulations Using Liquid and Solid Carrier and Evaluation of Their Influence on Growth Parameters and Enzyme Activity of Tea Plants

### Abstract

The objective of this study was to evaluate possible effects of mineral fertilizer, one commercial and five N<sub>2</sub>-fixing and/or P-solubilizing microorganism based bio-fertilizers (F1: *B. atrophaeus* 55/6+*B. megaterium* 63/1+*P. fluorescens* 9/7; F2: *B. simplex* 6/4+ *B. subtilis* B2/8+*P. putida* 3/10; F3: *B. pumilus* 35/6+*P. polymyxa* 2/2+*Pseudomonas* sp.27/3; F4: *B. pumilus* RC19+*P. polymyxa* RC35+*P. putida* 29/2; F5: *B. lentus* 29/6+*P. polymyxa* RC14+*P. putida* RC06), developed in seven organic and inorganic solid carriers (tea waste, peat, perlite, leonardite, zeolite, and vermiculite) and liquid carriers based formulations were evaluated for their growth and enzyme activities of tea under natural soil conditions of Rize, in two years. The experiment was arranged as a completely randomized two-factor design seven carriers, eight treatments, and five replications (each having four saplings). Bacterial combinations efficiency was variable and depended on the inoculants strain, carrier material and parameters evaluated. Bio-fertilizers formulations stimulated overall plant growth, including shoot development, plant height, trunk diameter, leaf yield, chlorophyll and anthocyanin content, and activities of oxidative, catalytic, hydrolytic and anti-oxidative enzymes of Turkish registered tea clones Hayrat. Bacterial combinations improved for enhanced plant growth promotion will enable reductions in inputs of chemical fertiliser, had a potential to be used as a bio-fertilizer in sustainable and organic tea production.

**Keywords:** Tea (*Camellia sinensis* L.), plant-growth-promoting bacteria, solid and liquid carriers, bio-fertilizers

## Giriş

Çay çok yıllık bir bitki olarak ve yaprakları sürekli hasat edildiğinden çoğu bitkiden daha fazla azot uygulaması gerektirmekte ve azot çay verim ve kalitesine etki etmektedir. Toprakta eksilen N ve P miktarını karşılamak için yüksek oranda kimyasal gübre, özellikle azot kullanımı maliyetleri artırmakta, yıkanmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Araştırmalar göstermiştir ki çaylıklara yüksek oranda uygulanan azot gübresi toprak asidifikasyonu (Han ve ark. 2008), yer altı ve yüzey su kirliliği (Liu et al. 2012), nitrifikasyon oranını etkileme (Xu et al. 2006) ve düşük azot kullanım etkinliği sebebi ile yüksek oranda çevre kirliliğine (Han ve ark., 2008) neden olmamaktadır. Azottan sonra bitki gelişmesini etkileyen ikinci element fosfor olup, toprakta çözünürlüğünün düşük olması veya uygulansa bile hızla fiks edilip alınamaz forma dönüşmesi nedeniyle, çayın fosfor kullanım etkinliği yetersiz olmaktadır. Diğer taraftan uygulanan gübrelerin asidik yağışlı bölge topraklarda kullanım etkinliği düşmektedir. Özellikle N gübresi üretimi ve kullanımı ile birlikte artan çevre kirliliği ve maliyet, gübre azotuna çevresel olarak kabul edilebilir biyolojik kaynakların araştırılmasını önemli bir hedef haline getirmiştir. Asidik çay rizosferinde yaygın ve etkin olan faydalı bakterilerin izole edilmesi ve çay tarımında kullanımının araştırılması önem

kazanmıştır. Önceki araştırmalarda çay rizosferinden izole edilerek tanımlanan ve özellikleri ortaya konulan faydalı bakterilerin; laboratuvar, sera, pot, saksı ve tarla koşullarında farklı çay klonlarında gelişmeyi etkilediği ve biyolojik gübre olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır (Çakmakçı ve ark. 2010 a, b, c, 2011, 2012; Ertürk ve ark. 2011). Bu araştırmada önceki araştırmalarda tekli olarak test edilmiş PGPR izolatlarından hazırlanan kombinasyonların çay gelişme ve enzim aktivitesi üzerine etkisi test edilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Bu deneme, Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü Rize Atatürk Çay ve Bahçe Bitkileri Araştırma Enstitüsü Hayrat Deneme istasyonunda, iki yaşlı Hayrat çay klonunda köklendirilmiş çay fidanları ile kurulmuştur.

Bu deneme 5 farklı biyolojik gübre olabilecek 3'lü bakteri kombinasyonu, NPK gübrelemesi (1500 mg kompoze 25:5:10/fidan), biyolojik gübre ve kontrol (gübre ve bakteri uygulanmamış) uygulamaları olmak üzere sekiz uygulama, 6 farklı katı (Çay kompostu, perlit, leonardit, zeolit, vermikülit ve torf esaslı) ve 1 sıvı taşıyıcı olmak üzere faktöriyel (8 uygulama x 7 taşıyıcı) düzenlemeye göre 5 tekerrürlü ve her bir

Çizelge 1. Hayrat çay klonunda iki yaşlı fidanlarla kurulan denemede kullanılan kombinasyonlardaki bakterilerin bazı özellikleri

Table 1. Properties of bacteria used combinations of two years old Hayrat tea clones used in this study

Kombi nasyon	MIS Tanı Sonucu	Oksidaz test*	Katalaz test	Azot fiksasyonu	Sükroz test	Fosfat çözme	ACCD
F1	<i>Bacillus atrophaeus</i> 55/6	-	K+	K+	+	+	4
	<i>Bacillus megaterium</i> 63/1	-	K+	+	-	+	4
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 9/7	+	+	K+	K+	+	2
F2	<i>Bacillus simplex</i> 6/4	K+	K+	+	-	+	4
	<i>Bacillus subtilis</i> 2/8	Z+	K+	+	+	+	2
	<i>Pseudomonas putida</i> 3/10	K+	+	K+	K+	+	2
F3	<i>Bacillus pumilus</i> 35/6	-	K+	K+	-	+	4
	<i>Paenibacillus polymyxa</i> 2/2	-	+	K+	-	-	2
	<i>Pseudomonas sp</i> 27/3	K+	+	K+	K+	-	2
F4	<i>Bacillus pumilus</i> RC19	+	K+	+	-	+	2
	<i>Paenibacillus polymyxa</i> RC35	Z+	+	K+	Z+	Z+	3
	<i>Pseudomonas putida</i> 29/2	+	+	K+	-	Z+	2
F5	<i>Bacillus lentus</i> 29/6	-	K+	+	Z+	K+	3
	<i>Paenibacillus polymyxa</i> RC14	-	+	K+	+	Z+	2
	<i>Pseudomonas putida</i> RC06	Z+	+	K+	+	+	3

\*+:pozitif, K+: kuvvetli pozitif, Z+: zayıf pozitif, ACCD: Aminsiklopropan karboksilat deaminaze aktivitesi (2 çok kuvvetli 8 zayıf)

\*+:positive, K+: strong positive; Z+: weak positive, ACCD: 1-aminocyclopropane -1-carboxylate deaminase activity (2 very strong 8 weak)



Çizelge 2. (Devamı)  
Table 2. (Continued)

Uygulama	Taşıyıcı	Gövde çapı (mm)*	Bitki boyu (cm)	Dal+Yaprak ağırlığı (g/fidan)	Yaş yaprak ağırlığı (g/fidan)	Kuru yaprak ağırlığı (g/fidan)	Klorofil (SPAD) içeriği	Antosiyanin (ACI) içeriği	Yaprak alanı (cm <sup>2</sup> )
F2	K	7.35 e-h	57.24 a-g	24.40 f-l	16.25 c-g	7.55 c-k	74.32 g-j	26.47 b-d	32.9 a-d
	T	7.06 f-i	56.30 a-g	25.64 c-k	16.75 b-f	7.81 c-h	79.58 d-g	24.82 d-g	34.6 ab
	P	6.53 i-k	55.72 a-g	22.98 j-m	15.06 f-i	7.02 g-l	71.56 i-l	22.41 h-k	31.0 c-f
	L	7.23 f-i	57.28 a-g	25.53 c-k	16.68 b-f	7.78 c-i	79.16 d-h	24.82 d-g	34.9 ab
	Z	6.98 f-i	57.62 a-g	24.67 e-l	16.11 d-h	7.52 c-k	75.66 f-j	23.98 e-h	33.3 a-c
	V	6.42 i-l	57.30 a-g	22.69 j-m	14.82 f-i	6.91 h-l	70.42 j-m	22.05 h-k	31.0 c-f
	S	6.42 i-l	59.18 a-e	22.69 j-m	14.82 f-i	6.91 h-l	70.42 j-m	22.05 h-k	31.0 c-f
Ortalama		6.86 bc	57.23 ab	24.08 b	15.78 b	7.36 c	74.44 b	23.80 b	32.66 b
F3	K	8.06 b-e	52.93 d-g	22.34 k-m	14.59 f-i	6.71 j-l	75.77 f-j	21.76 i-k	26.0 i-l
	T	6.17 j-m	59.30 a-e	23.72 i-m	15.81 e-i	7.30 d-l	74.23 g-j	23.25 g-i	27.6 g-l
	P	5.66 l-m	56.19 a-g	21.43 l-m	14.29 g-i	6.58 j-l	67.08 k-m	21.01 j-k	26.4 i-l
	L	6.40 i-l	57.83 a-g	24.20 h-l	16.13 d-h	7.45 c-l	75.75 f-j	23.72 f-i	28.1 f-j
	Z	6.16 j-m	55.21 a-g	22.92 j-m	15.28 f-i	7.05 g-l	71.75 i-l	22.47 h-k	26.6 h-l
	V	8.22 b-d	52.72 e-g	21.34 l-m	14.23 hi	6.56 kl	66.79 k-m	20.92 jk	24.8 l
	S	8.14 b-e	55.10 a-g	21.43 l-m	14.29 g-i	6.58 j-l	67.08 k-m	21.01 jk	24.9 kl
Ortalama		6.97 b	55.61 b	22.48 c	14.95 c	6.89 de	71.21 c	22.02 c	26.33 e
F4	K	9.89 a	60.91 ab	28.75 a-c	19.17 a	8.85 ab	84.24 c-e	28.29 ab	32.0 b-d
	T	7.78 c-f	56.18 a-g	29.38 ab	19.77 a	8.95 ab	92.12 a	28.85 a	32.7 a-d
	P	6.87 g-j	52.76 e-g	25.97 c-j	17.78 a-e	7.81 c-h	81.42 c-f	25.50 c-f	28.5 f-i
	L	7.81 c-f	55.28 a-g	29.53 ab	19.87 a	9.00 ab	92.58 a	29.00 a	33.4 a-c
	Z	7.36 e-h	59.18 a-e	27.81 a-e	18.72 ab	8.47 a-c	87.20 a-c	27.31 a-c	30.9 c-f
	V	7.00 f-i	57.18 a-g	26.43 b-i	17.79 a-e	8.05 b-g	82.88 c-e	25.96 c-e	29.9 d-g
	S	7.02 f-i	58.01 a-g	26.53 b-i	17.86 a-e	8.08 b-g	83.19 c-e	26.05 c-e	29.9 d-g
Ortalama		7.68 a	57.07 ab	27.77 a	18.71 a	8.46 b	86.23 a	27.28 a	31.06 c

Çizelge 2. (Devamı)  
Table 2. (Continued)

Uygulama	Taşıyıcı	Gövde çapı (mm)*	Bitki boyu (cm)	Dal+Yaprak ağırlığı (g/fidan)	Yaş yaprak ağırlığı (g/fidan)	Kuru yaprak ağırlığı (g/fidan)	Klorofil (SPAD) içeriği	Antosiyanin (ACI) içeriği	Yaprak alanı (cm <sup>2</sup> )
F5	K	7.37 e-g	58.85 a-f	27.38 a-h	17.78 a-e	8.18 b-f	84.45 b-d	26.45 b-d	32.5 a-d
	T	7.45 d-g	58.04 a-g	27.71 a-f	17.93 a-e	8.28 a-e	85.47 b-d	26.63 b-d	33.1 a-c
	P	7.41 e-g	54.68 b-g	27.54 a-g	17.82 a-e	8.23 b-f	84.95 b-d	26.60 b-d	32.3 b-d
	L	8.73 b	56.39 a-g	30.41 a	20.03 a	9.29 a	93.31 a	29.42 a	35.5 a
	Z	7.51 c-g	61.87 a	27.93 a-e	18.07 a-d	8.34 a-d	87.03 a-c	25.98 c-e	33.4 a-c
	V	8.14 b-e	59.46 a-e	30.26 a	19.57 a	9.04 ab	93.32 a	29.23 a	35.5 a
	S	8.06 b-e	59.80 a-e	29.91 a	19.62 a	8.87 ab	92.58 a	28.99 a	35.5 a
	Ortalama	7.81 a	58.44 a	28.73 a	18.69 a	8.60 b	88.73 a	27.61 a	33.97 a
Biyolojik Gübre	K	7.53 c-g	58.36 a-g	24.17 h-l	16.27 c-g	7.36 d-l	83.27 c-e	27.39 a-c	28.9 e-i
	T	6.43 i-l	54.60 b-g	24.19 h-l	15.45 f-i	7.09 g-l	73.68 g-j	23.07 g-j	28.6 f-i
	P	5.60 m	52.66 e-g	21.58 lm	13.96 hi	6.38 l	66.57 k-m	20.85 jk	25.3 j-l
	L	6.89 g-j	57.68 a-g	25.60 c-k	16.56 b-f	7.65 c-j	77.97 e-i	24.73 d-g	30.4 c-g
	Z	6.08 j-m	59.99 a-d	23.01 j-m	14.89 f-i	6.87 h-l	70.38 j-m	22.23 h-k	27.5 g-l
	V	6.75 g-j	58.34 a-g	25.10 d-k	16.24 c-g	7.50 c-k	77.83 e-i	24.24 e-h	29.8 d-h
	S	6.54 h-k	58.44 a-g	24.29 g-l	15.71 e-i	7.26 e-l	74.93 g-j	23.47 f-i	28.8 e-i
	Ortalama	6.54 c	57.15 ab	23.99 b	15.58 bc	7.16 cd	74.95 b	23.71 b	28.47 d
Uygulama ort.	K	7.69 a	55.76 bc	25.22 ab	16.75 ab	7.76 ab	78.76 ab	25.48 a	28.70 bc
	T	6.79 b	56.74 ab	25.37 ab	16.76 ab	7.81 ab	80.32 a	24.98 a	29.21 ab
	P	6.27 c	54.16 c	23.59 c	15.65 b	7.24 c	73.80 c	23.18 c	26.86 d
	L	6.95 b	56.99 ab	25.85 a	17.14 a	7.96 a	80.47 a	24.32 a	29.80 a
	Z	6.54 bc	58.24 a	24.74 b	16.40 ab	7.61 b	77.30 b	24.11 b	28.31 bc
	V	6.82 b	56.65 ab	24.64 b	16.28 ab	7.59 b	77.20 b	24.17 b	28.05 c
	S	6.84 b	57.56 ab	24.65 b	16.32 ab	7.56 b	77.00 b	24.03 b	28.07 c

\* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar kendi grubunda önemli değildir (p < 0.05); açıklamalar Çizelge 3'te verilmiştir.

\* Differences between averages shown with same letter are not significant (p < 0.05), explanations are given under Table 3

Çizelge 3. Mineral gübre ve farklı biyolojik gübre kombinasyonlarının yaprak polifenol oksidaz, peroksidaz, üreaz, alkol dehidrogenaz ve 5-dehidroshikimat reduktaz enzim aktivitesi üzerine etkisi (2013 yılı sonuçları)

Table 3. Effects of different chemical and various bio-fertilizer combinations on leaf polyphenol oxidase, peroxidase, urease, alcohol dehydrogenase and 5-dehydroshikimate reductase enzyme activities (2013)

Uygulama	Polifenol oksidaz (PPO)			Peroksidaz (POD)			Üreaz			Alkol dehidrogenaz			5-Dehidroshikimat reduktaz (DHSK)		
	(EU/g yaprak)	(EU/mg protein)	(EU/g yaprak)	(EU/mg protein)	(EU/g yaprak)	(EU/mg protein)	(EU/mg protein)	(EU/g yaprak)	(EU/mg protein)	(EU/g yaprak)	(EU/mg protein)	(EU/g yaprak)	(EU/mg protein)		
Kontrol	6.84 cd	0.061 d	16.93 c	0.16 b	0.769 d	0.0092 e	1.38 bc	0.050 ab	2.19 d	0.088 e					
NPK	8.44 a	0.133 b	17.71 c	0.12 d	1.099 b	0.0118 c	0.93 f	0.031 f	3.00 bc	0.096 cd					
BG	7.51 b	0.225 a	14.95 d	0.14 c	1.590 a	0.0193 a	1.43 b	0.048 bc	1.69 e	0.056 f					
F1	7.20 bc	0.073 d	31.74 a	0.20 a	1.122 b	0.0138 b	1.30 cd	0.045 cd	3.52 a	0.115 a					
F2	6.63 de	0.072 d	28.80 b	0.20 a	1.056 b	0.0129 b	1.29 cd	0.045 cd	3.11 b	0.107 b					
F3	8.20 a	0.105 c	18.20 c	0.13 cd	1.107 b	0.0119 c	1.14 e	0.035 e	2.90 c	0.093 e					
F4	6.43 e	0.055 d	31.35 a	0.20 a	0.911 c	0.0109 cd	1.25 d	0.044 d	2.97 bc	0.102 bc					
F5	6.20 e	0.074 d	17.48 c	0.13 cd	0.979 c	0.0107 d	1.72 a	0.053 a	3.63 a	0.105 b					
Taşıyıcılar															
K	7.18 ab	0.102 a	20.20 c	0.15 a	1.054 b	0.0121 a	1.26 b	0.043 ab	2.87 ab	0.093 bc					
T	7.21 ab	0.097 a	22.79 ab	0.16 a	1.10 ab	0.0129 a	1.31 ab	0.044 ab	2.89 ab	0.098 ab					
P	6.88 b	0.094 a	21.35 bc	0.15 a	1.031 b	0.0121 a	1.24 b	0.042 b	2.74 b	0.091 c					
L	7.59 a	0.104 a	23.71 a	0.17 a	1.131 a	0.013 a	1.39 a	0.047 a	3.03 a	0.101 a					
Z	7.21 ab	0.097 a	22.67 ab	0.16 a	1.084 ab	0.0131 a	1.32 ab	0.044 ab	2.91 ab	0.096 a-c					
V	7.20 ab	0.098 a	22.29 ab	0.16 a	1.078 ab	0.0127 a	1.32 ab	0.044 ab	2.87 ab	0.095 bc					
S	7.00 b	0.097 a	22.01 b	0.16 a	1.075 ab	0.0126 a	1.29 ab	0.43 ab	2.83 b	0.094 bc					

\*Kontrol: Gübre ve bakteri uygulanmamış; NPK: 1500 mg kompoze 25:5:10/ fidan; BG: Ticari biyolojik gübre; F1: Bacillus atrophaeus 55/6+Bacillus megaterium 63/1+ Pseudomonas fluorescens 9/7; F2: Bacillus simplex 6/4+ Bacillus subtilis 2/8+ Pseudomonas putida 3/10; F3: Bacillus pumilus 35/6+Paenibacillus polymyxa 2/2+Pseudomonas sp.27/3; F4: Bacillus pumilus RC19+ Paenibacillus polymyxa RC35+ Pseudomonas putida 29/2; F5: Bacillus lentus 29/6+Paenibacillus polymyxa RC14+Pseudomonas putida RC06; \*\*K: Çay kompostu esaslı taşıyıcı; T: torf esaslı taşıyıcı; P: perlit esaslı taşıyıcı; L: leonardit esaslı taşıyıcı; Z: zeolit esaslı taşıyıcı; V: vermikülit esaslı taşıyıcı; S: sıvı esaslı taşıyıcı; \*\*\*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar kendi grubunda önemli değildir (p< 0.05)

\*Control: Without fertilizer and bacteria applications; NPK: 1500 mg kompoze 25:5:10/clone; BG: Ticari Commercial bio-fertilizer; F1: Bacillus atrophaeus 55/6+Bacillus megaterium 63/1+ Pseudomonas fluorescens 9/7; F2: Bacillus simplex 6/4+ Bacillus subtilis 2/8+ Pseudomonas putida 3/10; F3: Bacillus pumilus 35/6+Paenibacillus polymyxa 2/2+Pseudomonas sp.27/3; F4: Bacillus pumilus RC19+ Paenibacillus polymyxa RC35+ Pseudomonas putida 29/2; F5: Bacillus lentus 29/6+Paenibacillus polymyxa RC14+Pseudomonas putida RC06; \*\*K: tea waste carrier; T: peat carrier; P: perlite carrier; L: leonardite carrier; Z: zeolite carrier; V: vermiculite carrier; S: liquid carrier; \*\*\* Differences between averages shown with same letter are not significant (p< 0.05)

tekerrürde 4 fidan olacak şekilde kurulmuştur. Formülasyonlar fidan dikimi esnasında ve ikinci yıl bitki kök bölgesine uygulanmıştır. Bu denemede kullanılan formül ve izolatların özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Araştırmanın her iki yılında da Kasım ayı döneminde gövde çapı, bitki boyu ölçümünü müteakip fidanlar eşit yükseklikten kesilerek hasat edilmiş, gövde+yaprak ağırlığı ve yaş ve kuru yaprak verimi, klorofil içeriği (SPAD değeri), ikinci ve üçüncü yaprak alanı ölçülmüş ve değerlendirilmiştir.

### Bulgular ve Tartışma

Araştırmanın her iki yılında Kasım döneminde gövde çapı, bitki boyu ölçümünü müteakip fidanlar eşit yükseklikten kesilerek hasat edilmiş, gövde+yaprak ağırlığı ve yaş ve kuru yaprak verimi, klorofil içeriği (SPAD değeri), antosiyanin (ACI) içeriği, ikinci ve üçüncü yaprak alanı ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Aşılana bakteri, gübre uygulamaları ve kullanılan taşıyıcılara bağlı olarak değişmekle birlikte bakteri formülasyonları, gübre uygulamaları ve taşıyıcılar çay fidanlarında gövde çapı, bitki boyu, yaprak sayısı, dal+yaprak ağırlığı, yaş ve kuru yaprak ağırlığı, klorofil ve antosiyanin içeriği ve çay işleme teknolojisi, kalite, renk, aroma ve antioksidan savunma sisteminde önemli olan enzim aktivitesi değerlerini önemli miktarda etkilemiştir. Araştırmanın ilk yılında, taşıyıcı ortalamalarına göre gövde çapı, bitki boyu, dal+yaprak ağırlığı, yaş yaprak ağırlığı, klorofil ve antosiyanin içeriği bakımından kontrole kıyasla

önemli artışa neden olan mineral gübreleme, F4 formülasyonu (*Bacillus pumilus* RC19+*Paenibacillus polymyxa*, RC35+*Pseudomonas putida* 29/2) ve F5 formülasyonu (*Bacillus lentus* 29/6+*Paenibacillus polymyxa* RC14+*Pseudomonas putida* RC06) en yüksek değerleri vermiş ve aynı gruba girmiştir. En yüksek gövde çapı, dal+yaprak ağırlığı, yaş yaprak verimi, klorofil miktarı ve antosiyanin değerleri F5, F4 ve mineral gübre uygulanmış fidanlarda belirlenmiştir. Fidan gövde çapı değerleri F1 kombinasyonu dışındaki uygulamalarla, bitki boyu ise bütün uygulamalarla kontrole kıyasla artmış ve artış oranları önemli ( $p \leq 0.05$ ) bulunmuştur.

F1 kombinasyonu kontrole kıyasla dal+yaprak ağırlığı, yaş ve kuru yaprak verimi, klorofil ve antosiyanin değerlerini düşürmüştür. Yaş ve kuru yaprak verimi ve klorofil içeriği bakımından F2, F3 ve biyolojik gübre uygulamaları kontrole aynı gruba girmiştir (Çizelge 2). Ele alınan parametreler bakımından, genel olarak bütün formülasyonlarda ve gübre uygulamalarında perlit ve zeolit esaslı taşıyıcılar en düşük sonucu verirken, dal+yaprak ile yaş ve kuru yaprak ağırlığı bakımından en uygun değerler mineral gübre ve F4 kombinasyonunda torf ve kompost, biyolojik gübrede ise leonardit ve vermikülit esaslı taşıyıcılardan elde edilmiştir. Test edilen bakteri formülasyonlarından en etkin sonucu veren F4 aşılamaında yaş ve kuru yaprak ağırlığı bakımından torf, kompost ve leonardit esaslı

Çizelge 4. Farklı katı ve sıvı taşıyıcılarla uygulanan bakteri kombinasyonları ve mineral gübre uygulamasının gelişme ve verim parametreleri üzerine etkisi (2014 yılı)

Table 4. Effects of different bacterial combinations applied with liquid and solid carriers and chemical fertilizer applications on growth and yield parameters (2014)

	Gövde çapı (mm)*	Bitki boyu (cm)	Dal+y yaprak ağırlığı (g/fidan)	Yaş yaprak ağırlığı (g/fidan)	Kuru yaprak ağırlığı (g/fidan)	Klorofil (SPAD) içeriği	İkinci yaprak alanı (cm <sup>2</sup> )	Üçüncü yaprak alanı (cm <sup>2</sup> )
<b>Uygulamalar</b>								
Kontrol	6.47 d	60.47 c	34.23 cd	16.27 d	8.50 e	66.14 e	12.55 bc	21.05 bc
NPK	8.48 a	66.20 ab	41.86 a	21.69 a	11.12 a	82.09 a	15.24 a	26.21 a
BG	7.65 b	65.27 ab	35.63 bc	17.95 bc	8.96 cd	72.83 b	12.76 b	21.58 b
F1	6.88 c	64.86 ab	31.39 e	17.69 bc	8.94 bc	70.93 cd	12.08 c	20.29 c
F2	7.89 b	65.36 ab	35.94 b	18.29 b	9.20 c	72.30 bc	13.10 b	21.96 b
F3	8.48 b	63.51 b	33.73 d	17.32 c	8.70 de	69.65 d	12.85 b	21.57 b
F4	8.43 a	65.18 ab	41.67 a	21.60 a	10.62 b	82.89 a	14.98 a	25.74 a
F5	8.59 a	66.57 a	42.03 a	21.30 a	10.61 b	84.46 a	15.05 a	25.50 a
<b>Taşıyıcılar</b>								
K	8.44 a	64.00 ab	37.54 ab	19.15 ab	9.58 ab	75.29 ab	13.73 ab	23.26 ab
T	8.01 ab	64.70 a	37.83 b	19.30 ab	9.73 ab	76.91 ab	13.73 ab	23.29 ab
P	7.25 c	62.04 b	35.26 b	18.16 b	9.16 b	72.19 b	13.06 b	22.04 b
L	7.99 ab	65.08 a	38.69 a	19.83 a	9.98 a	77.71 a	14.08 a	23.91 a
Z	7.75 bc	66.36 a	36.90 ab	18.97 ab	9.57 ab	74.59 ab	13.55 ab	22.92 ab
V	7.76 bc	64.81 a	36.61 ab	18.83 ab	9.52 ab	74.74 ab	13.44 ab	22.74 ab
S	7.83 bc	65.73 a	36.59 ab	18.85 ab	9.44 ab	74.71 ab	13.46 ab	22.77 ab

\* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar kendi grubunda önemli değildir ( $p < 0.05$ )

\* Differences between averages shown with same letter are not significant ( $p < 0.05$ )

taşıyıcılar en etkin taşıyıcılar olarak aynı gruba girmiştir (Çizelge 2). Mineral gübre, bakteri formülasyonları ve taşıyıcılar çay fidanlarında yaprak enzim aktivitesini belli oranda etkilemiştir (Çizelge 3). Polifenollerin oksidasyon reaksiyonunda ve siyah çay üretiminde pigment oluşumunda başlıca rol oynayan polifenol oksidaz (PPO) enzimi mineral gübreleme, biyolojik gübre ve F3 formülasyonu aşılınmış çay fidanlarında gerek birim yaprak ve gerekse birim protein başına kontrole kıyasla artmış ve artış oranları önemli bulunmuştur. Taşıyıcı ortalamalarına göre, birim yaprak ağırlığı ve protein miktarı başına enzim ünitesi olarak ölçülen peroksidaz (POD) aktivitesi (EU/g yaprak ve EU/mg protein) özellikle F1, F2 ve F4 bakteri formülasyonları ile artmış ve kontrole kıyasla ortalamalar arası farklılıklar önemli bulunmuştur. Biyolojik gübre başta olmak üzere tüm bakteri formülasyonları ve mineral gübre uygulaması yaprak üreaz enzim aktivitesini istatistiki olarak önemli miktarda artırmıştır. Polifenollerin biyosentezinde anahtar rol oynayan ve genç sürgünlerde daha fazla oranda bulunan 5-Dehidroshikimat redüktaz (DHSK) enzimi, biyolojik gübre ve F3 formülasyonu dışındaki uygulamalarla kontrole kıyasla artmış ve artış oranları istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Çay yapraklarında bulunan alkol dehidrogenaz (ADH) enzim aktivitesi bakımından sadece F5 formülasyonu ile artarken diğer uygulamalarla, kontrole kıyasla bu enzim aktivitesinin azaldığı belirlenmiştir. Uygulama ortalamalarına göre, deneme setlerinde test edilen taşıyıcıların enzim aktivitesi üzerine etkileri çok açık olmamakla birlikte, enzim aktivitesi bakımından leonardit, tort, kompost ve sıvı taşıyıcıların belli oranlarda etkin olduğu belirlenmiştir. Çayda PGPR kullanılarak yaprak antioksidan, çay işleme teknolojisinin ile tat ve aromada önemli olabilecek enzim aktivitesinin artırılabilmesi, gelecekte strese tolerans ve çay teknolojisi araştırmalarına önemli katkı sağlayacaktır. Çay topraklarının fazla asidik olmaları, uygulanan gübrelerin toprak asitliğini artırması ve yoğun azot kullanımının yol açtığı su kirliliği ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri dikkate alındığında; iyileştirilmiş tarım ve çevre korunması bakımından bu ve benzeri araştırmanın tarla koşullarında yürütülmesi çaylık bölgeler için önemlidir. İkinci yılda, taşıyıcı ortalamalarına göre gövde çapı, bitki

boyu, dal+yaprak ağırlığı, yaş yaprak ağırlığı, klorofil içeriği, ikinci ve üçüncü yaprak alanı bakımından kontrole kıyasla önemli artışa neden olan mineral NPK gübrelemesi, F4 (*B. pumilus* RC19+ *P. polymyxa*, RC35+*P. putida* 29/2) ve F5 (*B. lentus* 29/6+*P. polymyxa* RC14+*P. putida* RC06) formülasyonları en yüksek değerleri vermiş ve aynı gruba girmiştir (Çizelge 4). Gövde çapı, fidan boyu, yaş yaprak ağırlığı ve klorofil içeriği değerleri uygulamaların tamamında kontrole kıyasla önemli ölçüde artmış ve artış oranları önemli ( $p \leq 0.05$ ) bulunmuştur. Kuru yaprak ağırlığı F3 formülasyonu dışındaki uygulamalarla kontrole kıyasla önemli oranda artarken, ikinci ve üçüncü yaprak alanı bakımından mineral gübreleme, F4 ve F5 formülasyonları ile önemli artış göstermiş, diğer uygulamalar kontrolle aynı gruba girmiştir. En yüksek gövde çapı, dal+yaprak ağırlığı, yaş yaprak verimi ve klorofil içeriği F4, F5 ve mineral gübre uygulanmış fidanlarda belirlenmiştir. Araştırmanın her iki yılında da gübre uygulama ortalamalarına göre ölçülen parametreler bakımından genellikle en uygun sonucu katı leonardit, kompost ve torf esaslı taşıyıcılar vermiştir. Çay fidanları gövde çapı bakımından çay atığı kompost ve torf; bitki boyu bakımından zeolit ve leonardit, dal+yaprak, yaş yaprak ağırlığı bakımından leonardit ve kompost, kuru yaprak ağırlığı, klorofil içeriği, ve yaprak alanı değerleri bakımından ise leonardit ve torf ve kompost esaslı taşıyıcının öne çıktığı belirlenmiştir. Ölçülen parametreler bakımından leonardit esaslı taşıyıcının en uygun sonucu verdiği, perlit esaslı katı taşıyıcının ise etkinliğinin düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4). Gövde çapı ve dal+yaprak ağırlığı dışında belirlenen gelişme parametreleri bakımından perlit dışındaki uygulamalar genellikle aynı istatistiki gruba girmiştir. Test edilen bakteri formülasyonlarından en etkin sonucu veren F4 ve F5 aşılmasında toplam dal+yaprak ağırlığı, yaş ve kuru yaprak ağırlığı, klorofil içeriği ve yaprak alanı bakımından leonardit, torf ve kompost esaslı taşıyıcılar en etkin taşıyıcılar olarak aynı gruba girmiştir (Çizelge 4). Test edilen formülasyonlardan yüksek etkinlik gösterenler çay gelişmesini denemede kullanılan mineral gübrelemeye eşit veya daha fazla artırabilmiştir. İki yıllık ortalamalara göre, tohumların F1, F2, F3, F4 ve F5 bakteri aşılmaları, kontrole kıyasla, sırasıyla gövde çapı %6.4, 22.8, 28.6, 34.1 ve 35.2; kuru



yaprak ağırlığı %0.9, 7.7, 1.4, 24.1 ve 23.2, klorofil oranı ise %1.0, 5.4, 1.2, 21.5 ve 23.3 oranında artırmış; oysa NPK ve biyolojik gübre uygulamaları gövde çapı %32.6 ve 18.2, kuru yaprak ağırlığı %31.2 ve 3.3 ve klorofil değeri ise % 13.3 ve 6.2 artmıştır. F4 ve F5 formülasyonunun başta organik tarım olmak üzere çay üretiminde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

### Sonuç

Biyolojik gübre formülasyonu Hayrat Türk çay klonunda gövde gelişmesi, bitki yüksekliği, gövde çapı, yaprak verimi, klorofil ve antioksidan içeriği, yaprak alanı, oksidatif, katalitik, hidrolitik ve antioksidan enzim aktivitesi dahil gelişmeyi teşvik etmiştir. Araştırmada test edilen bakteri kombinasyonlarının bitki gelişmesini teşvik ettiği, kimyasal gübre gereksinimini azaltabildiği, organik ve sürdürülebilir tarım uygulamalarında biyolojik gübre olarak kullanılabilecek potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

### Kaynaklar

- Çakmakçı R., Dönmez M.F., Ertürk Y., Erat M., Haznedar A. and Sekban R., 2010 a. Diversity and metabolic potential of culturable bacteria from the rhizosphere of turkish tea grown in acidic soils. *Plant and Soil*, 332 (1-2):299-318
- Çakmakçı R., Ertürk Y., Dönmez M.F. and Sekban R., 2010 b. Research of plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers to enhance organic tea production. *International Conference on Organic Agriculture in Scope of Environmental Problems*, 3-7 February 2010 in Famagusta/K.Kıbrıs. *Book of Proceedings*, 371-376
- Çakmakçı R., Ertürk Y., Dönmez M.F., Sekban R. and Haznedar A., 2010 c. Farklı çay klonlarında biyolojik gübrelemenin kullanım olanakları. *Türkiye 4. Organik Tarım Sempozyumu*, 28 Haziran 1 Temmuz 2010 Erzurum, 777-782

- Çakmakçı R., Ertürk Y., Atasever A., Ercişli S., Şentürk M., Erat M., Haznedar A. and Sekban R., 2011. The use of plant growth promoting rhizobacteria for organic tea production in Turkey. *Proceedings of Tea- Organic-Low Carbon International Symp. Guangyuan/China*. 6-9, 89-97
- Çakmakçı R., Ertürk Y., Dönmez F., Erat M., Haznedar A. and Sekban R., 2012. Tea growth and yield in relation to mixed cultures of N<sub>2</sub>-fixing and phosphate solubilizing bacteria. *23<sup>rd</sup> International Scientific-Experts Congress on Agriculture and Food Industry*, September 2-29, 2012, The Journal of Ege University Faculty of Agriculture Special Issue Vol 1.17-21, İzmir
- Ertürk Y., Çakmakçı R., Dönmez M.F., Sekban R. and Haznedar A., 2011. Fener -3 çay klonu fidanlarında enjeksiyon ve daldırma metotları ile PGPR uygulamalarının verim üzerine etkilerinin incelenmesi. *GAP VI. Tarım Kongresi*, 09-12 Mayıs 2011, Şanlıurfa, 29-34
- Han W.Y., Ma L.F., Shi Y.Z., Ruan J.Y. and Kemmitt S.J., 2008. Nitrogen release dynamics and transformation of slow release fertiliser products and their effects on tea yield and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88:839-846
- Liu Z., Yang J., Yang Z. and Zou J., 2012. Effects of rainfall and fertilizer types on nitrogen and phosphorus concentrations in surface runoff from subtropical tea fields in Zhejiang, China. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 93: 297-307
- Xue D., Yao H. and Huang C., 2006. Microbial biomass, n mineralization and nitrification, enzyme activities, and microbial community diversity in tea orchard soils. *Plant and Soil*, 288: 319-331